MINERAL BULLETIN MR 188

VANADIUM

AN IMPORTED MINERAL COMMODITY

DECEMBER 1980

Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

Mineral and Earth Sciences Program
Programme des Minéraux et des Sciences de la Terre

91-00097/

© Minister of Supply and Services Canada 1981

Available in Canada through

Authorized Bookstore Agents
and other bookstores

or by mail from

Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Hull, Québec, Canada K1A 0S9

Catalogue No. M38-2/188E
ISBN 0-660-10813-5

Canada: $3.00
Other countries: $3.60

Price subject to change without notice.

FOREWORD

Canadians are becoming increasingly conscious of the importance of their mineral domain. Producing some 60 mineral commodities, Canada ranks third in the world - after the United States and the U.S.S.R. - in value and diversity of mineral production, and is the world's foremost exporter of minerals.

As Canada enjoys a privileged position - not only because of the substantial mineral resources within its borders but also because it has the ability to produce most of its own mineral requirements - it may come as a surprise to many Canadians that the value of imports of mineral and mineral-based products amounts to several billion dollars each year.

Some of these products, such as iron ore and various industrial minerals, are also mined in this country; others, such as bauxite, chromium, manganese, and phosphate rock, are not.

Given current concerns about an increasingly unstable international situation, greater attention is now being paid by government to those mineral commodities that Canada must import. Other industrialized countries, whose economic vulnerability is far greater than our own because of their lesser degree of mineral self-sufficiency, are also taking a closer look at their individual situations with respect to such imports.

To determine Canada's vulnerability to shortages in supply of a particular imported mineral product, answers must be sought to questions such as:

- In what countries does the given mineral product originate?
- What routes does it follow in coming to Canada?
- How vulnerable is this supply chain to political or other disruptions?
- How much of the mineral product is used to produce what?
- Are there alternative sources of supply?
- What are the substitute materials that can be obtained domestically or from other countries?
- What actions would be required to obtain this mineral product from another source or to use a substitute?
- In summary: how serious is Canada's potential supply problem for the mineral in question and what should be done about it now?

This report on VANADIUM - a metal used mainly as an alloying element in the steel industry - looks at one of the relatively few raw materials for which Canada is currently totally dependent upon imports. It is the first of a series aimed at assessing possible problems in obtaining supplies of selected non-fuel minerals, to provide background information for government policy, which might involve such actions as guiding research that could lead to less dependence on external sources.

The following individuals in the Department of Energy, Mines and Resources cooperated in the preparation of this report: G.M. Ritcey (Minerals Research Program), M.C. Campbell and W.J.S. Craigen (Mineral Sciences Laboratories), Dr. J.D. Boyd, Dr. A.F. Crawley, Dr. M.J. Godden, Dr. J.T. Jubb, Dr. J.T. McGrath, D.E. Parsons and Dr. A.J. Williams (Physical Metallurgy Research Laboratories), and Dr. K. Belinko and G.V. Sirianni (Energy Research Laboratory), all of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology; Dr. H. Baumann of the Economic and Policy Analysis Sector; Dr. G.B. Leech, Dr. D.C. Findlay and Dr. G.A. Gross of the Geological Survey of Canada; and D.G. Fong, D.E.C. King, D.G. Law-West, A. Lemieux, H.L. Martin, A.J. Webb and Dr. J. Zwartendyk of the Mineral Policy Sector.

The study was coordinated by Dr. A.B.T. Werner of the Resources and Development Division, Mineral Policy Sector.

R.D. Hutchinson
Acting Assistant Deputy Minister
(Mineral Policy)

ABSTRACT

This report, the first of a series on imported mineral commodities, examines Canada's position in regard to the principal vanadium materials: vanadium oxide, ferrovanadium, other vanadium-bearing alloys, and vanadium chemicals.

It lists the Canadian uses for these vanadium materials and discusses current sources of supply for Canadian users in an international context.

Possible alternative sources of supply, both foreign and domestic, are considered and the possibility of using substitute materials in various end-uses is examined. The report is intended to be a basis for the consideration of options and recommendations for government policy.

RÉSUMÉ

Ce rapport, le premier d'une série se rapportant aux produits minéraux importés, examine la position du Canada en regard des principaux matériaux de vanadium, tels: les oxydes de vanadium, le ferrovanadium, les autres alliages de vanadium et les produits chimiques à base de vanadium.

Le rapport énumère les utilisations au Canada de matériaux dérivés du vanadium et passe en revue les sources actuelles d'approvisionnement pour les usagers canadiens dans un contexte international.

D'autres sources possibles d'approvisionnement, aussi bien de l'intérieur que de l'extérieur du pays, sont prises en considération et les possibilités d'utilisation de substituts dans diverses applications sont examinées. Ce rapport a pour but de servir de fondement à l'examen d'options et suggestions quant aux politiques que devrait suivre le gouvernement.

CONTENTS

	PAGE
INTRODUCTION	1
PART I. PRINCIPAL VANADIUM SUB-PRODUCTS	2
Vanadium Pentoxide	2
Ferrovanadium	2
Other Vanadium-bearing Master Alloys	2
Vanadium Chemicals	3
Summary, Part I	3
PART II. PRINCIPAL CANADIAN USES OF VANADIUM SUB-PRODUCTS	4
Vanadium-bearing Concentrates	4
Vanadium Pentoxide	4
Ferrovanadium	4
i) High-Strength Low-Alloy Steels	5
ii) Tool Steels	5
iii) Specialty Steels	5
iv) Carbon Steels	5
v) Other Steels	5
Other Vanadium-bearing Master Alloys	5
Vanadium Chemicals	7
Summary, Part II	7
PART III. CANADA'S SOURCES OF VANADIUM SUB-PRODUCTS	8
A. Domestic	8
Vanadium-bearing Concentrates	8
Vanadium Pentoxide	8
Ferrovanadium	8

		PAGE
	Other Vanadium-bearing Master Alloys	8
	Vanadium Chemicals	8
B.	**Foreign**	8
	Vanadium-bearing Concentrates	8
	Vanadium Pentoxide	10
	Ferrovanadium	10
	Other Vanadium-bearing Master Alloys	10
	Vanadium Chemicals	10
C.	**World Supply Capability**	11
	Vanadium-bearing Concentrates	11
	i) World Reserves	11
	ii) World Output in Recent Years	12
	iii) Current Western World Vanadium Pentoxide Supply Capability	12
	iv) Planned Expansions to World Supply Capability	12
	Ferrovanadium	16
	Other Vanadium-bearing Master Alloys	16
	Vanadium Chemicals	16
D.	**Country by Country Review**	18
	United States	18
	Republic of South Africa	21
	Australia	21
	U.S.S.R.	22
	Other Countries	22
Summary, Part III		22

PAGE

PART IV. ALTERNATIVE SOURCES OF SUPPLY 24

Vanadium Pentoxide 24

i) From Current Foreign Producers 24

ii) From Possible Canadian Producers 24

Ferrovanadium 26

i) From Current Foreign Producers 26

ii) From Possible Additional Domestic Producers 26

Other Vanadium-bearing Master Alloys 27

i) From Current Foreign Producers 27

ii) From Domestic Producers 27

Vanadium Chemicals 27

i) From Current Foreign Producers 27

ii) From Possible Domestic Producers 27

Summary, Part IV 27

PART V. SUBSTITUTE MATERIALS 28

Ferrovanadium 28

Other Vanadium-bearing Master Alloys 28

Vanadium Chemicals 28

Summary, Part V 28

PART VI. GENERAL SUMMARY AND CONCLUSIONS 29

1. Sub Products Used in Canada 29

2. Canadian Uses 29

3. Current Sources 29

4. Possible Domestic Sources 29

5. World Supply 29

6. Substitutes 30

PAGE

7. Stocks 30

8. Possible Courses of Action 30

APPENDICES

1. U.S. Average Annual Price of Vanadium Pentoxide, 1970-79 33

2. U.S. Prices of Vanadium Pentoxide and Ferrovanadium 34

3. Canadian Customs Tariffs on Imported Vanadium Materials 35

4. Selected Reports on Vanadium prepared by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) 36

5. General References 37

TABLES

Table 1. Vanadium Market Products 1

Table 2. Consumption of Ferrovanadium in Canada 4

Table 3. Canadian Trade in Vanadium 9

Table 4. World Reserves: Estimated Vanadium Pentoxide Equivalent 11

Table 5. Estimated World Production of Vanadium Pentoxide Equivalent from Ores and Concentrates, by Country, Selected Years from 1960 to 1978 14

Table 6. Nominal Western World Vanadium Pentoxide Production Capacity 15

Table 7. Planned Expansions to World Vanadium Production Capacity 15

Table 8. Major World Ferrovanadium Production Plants 17

Table 9. Vanadium Industry in the United States 19

Table 10. Canada's Sources of Vanadium Sub-Products 23

Table 11. Possible Courses of Action in the Face of Interruptions to the Supply of Vanadium Materials 31

FIGURES

		PAGE
1.	Canada, Consumption of Vanadium Contained in Ferrovanadium 1960-1979, and Projection to 1990	6
2.	Principal Producers of Vanadium in Ores and Concentrates, 1980	13

INTRODUCTION

Vanadium in usable forms is recovered from vanadium ores, vanadium-uranium ores, vanadium-bearing slags formed in pig iron and phosphorus operations, and from crude oil residues.

Vanadium is produced in the form of vanadium pentoxide, ferrovanadium and other vanadium-bearing alloys, vanadium chemicals and vanadium metal. To date, applications of the metal have been extremely limited[1], and it is not discussed in this report.

Table 1

Vanadium Market Products

Vanadium pentoxide	
- fused or technical flake	98-99 per cent V_2O_5
- granular to technical	98-99 per cent V_2O_5
- granular, high purity	99.6 per cent V_2O_5 (minimum)
Ferrovanadium	38-80 per cent V

Source: Energy, Mines and Resources Canada, United States Bureau of Mines, "Vanadium - 1977", **Mineral Commodity Profile,** MCP-8, p. 3.
Note: For prices, see Appendices 1 and 2.

[1] For example, in 1976 the United States Bureau of Mines supplied 16 pounds to the Oak Ridge National Laboratory and to the University of Illinois for this purpose.

PART 1. PRINCIPAL VANADIUM SUB-PRODUCTS

Vanadium Pentoxide

Vanadium pentoxide, which is the initial commercial form of vanadium for industrial use, is usually produced from ores, residues and slags by salt roasting and leaching, modified, as necessary, by solvent extraction or ion exchange processes[1].

Ferrovanadium

Ferrovanadium is a general term which covers a number of master alloys[2] produced commercially by the reduction of vanadium ore, slag or technical grade oxide, with carbon, ferrosilicon or aluminum, for example:

Ferrovanadium I and II	70 to 80 per cent vanadium
Ferrovanadium III	50 to 55 per cent vanadium
Ferrovanadium IV	35 per cent vanadium

For statistical purposes, two unique proprietary vanadium-carbon-iron-bearing master alloys are often included in this category, namely:

"Carvan"	- produced by the Union Carbide Corporation, U.S.	82 to 86 per cent vanadium, 10.5-14.5 per cent carbon, and 0.1 per cent (maximum) silicon.
"Ferovan"	- produced by the Foote Mineral Company, U.S.	42 per cent vanadium, 7 per cent (maximum) silicon, 4.5 per cent (maximum) manganese and 0.85 per cent (maximum) carbon.

Vanadium-bearing master alloys are used to make a variety of vanadium-bearing steels.

Other Vanadium-bearing Master Alloys

Vanadium-aluminum master alloys (65 per cent V, 35 per cent Al or 50 per cent V - 50 per cent Al), produced by the aluminothermic process using V_2O_5, are used in the production of vanadium-bearing titanium alloys[3], notably Ti-6Al-4V,

---

[1] See "Vanadium" in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems", **Mineral Bulletin 667**, p. 1204.

[2] An alloy, rich in one or more defined addition elements, that can be added to a melt to raise the percentage of a desired constituent.

[3] See U.S. National Materials Advisory Board, **Vanadium Supply and Demand Outlook**, p.96.

Ti-6Al-6V-2Sn and Ti-8Al-1Mo-1V. These[1] are used by aerospace manufacturers in applications where the high strength and low weight of these alloys provide significant advantages in applications such as jet engine compressor blades, disks and nozzles. They are also used in military tank armour plate and suspension systems, as well as in marine hardware and diving vehicles.

Vanadium Chemicals

A variety of vanadium chemicals such as sodium vanadate, ammonium metavanadate, potassium metavanadate and vanadium oxytrichloride are used in industry, particularly for the production of catalysts, as ingredients in coloured glazes for porcelain enamels and ceramic ware, as driers in paints and varnishes and in making phosphors for television tubes.

Summary, Part I

Four main groups of vanadium sub-products: vanadium pentoxide, ferrovanadium, other vanadium-based master alloys and vanadium chemicals, are used by industry.

---

[1] Other vanadium-bearing alloys belonging to the carbon and low-alloy steel group, the age-hardening steel group, the ultra-high-strength steel group, martensitic stainless steel group, nickel chromium steel group, and to each of the aluminum, nickel and columbium alloy groups, are also used in aerospace applications such as landing gear, but to a much lesser extent than the vanadium-bearing titanium alloys.

PART II. PRINCIPAL CANADIAN USES OF VANADIUM SUB-PRODUCTS

Vanadium-bearing Concentrates

No vanadium-bearing concentrates are currently produced or used in Canada.

Vanadium Pentoxide

Vanadium pentoxide is used by Masterloy Products Limited of Ottawa to make ferrovanadium (see page 8) by aluminothermic reduction.

Ferrovanadium

Ferrovanadium master alloy is used in Canada to make a variety of steels. Canadian consumption of ferrovanadium since 1975 is shown in Table 2.

Table 2

Consumption of Ferrovanadium in Canada, 1975-78

	Gross weight	Vanadium content
	(tonnes)	
1975	435	341
1976	394	308
1977	412	329
1978	499	396

Source: Statistics Canada

Of the 499 tonnes of ferrovanadium reported to have been consumed in 1978, five companies accounted for about 94 per cent: The Steel Company of Canada, Limited (Stelco); The Algoma Steel Corporation, Limited; Atlas Steels Division of Rio Algom Limited; Sydney Steel Corporation and Colt Industries (Canada) Ltd. Among other companies using the material were the Burlington Steel Division of Slater Steel Industries Limited; Dominion Foundries and Steel, Limited (Dofasco); Sidbec-Dosco Limited and the Manitoba Rolling Mills Division of Dominion Bridge Company, Limited.

An extrapolation of Canadian demand for vanadium contained in ferro-vanadium is shown in Figure 1. Based on statistical information for 1964-79[1], it is estimated that some 600 tonnes (550-650 tonne range) of vanadium contained in ferro-vanadium will be consumed in Canada in 1985.

Although available data do not permit the breakdown of Canadian vanadium consumption by end-use, the principal uses appear to be:

i) **High-Strength Low-Alloy Steels**

The major end-use of vanadium in Canada is in the manufacture of high-strength low-alloy (HSLA) steels containing less than 0.2 per cent vanadium. Canada's three main steelmakers use a combined columbium-vanadium grade for high-strength low-alloy steels because of mill power limitations.

Such steels find particular application in line pipe, structural plates and shapes, and in automobile, truck and aerospace components.

ii) **Tool Steels**

Tool steels (M1 to M7 with 1 per cent to 6 per cent V, and T1 with 1 per cent V) are produced by Atlas Steel.

iii) **Specialty Steels**

Atlas uses minor amounts of vanadium in the production of a variety of specialty steels (carbon, electrical alloy and hollow drill mining steels), which contain some 0.03 per cent V.

iv) **Carbon Steels**

Vanadium is used as a deoxidant in making carbon steels, particularly those that are continuously cast into billets.

v) **Other Steels**

Colt Industries uses vanadium to produce hot-worked and air-hardened die steels which are used in the fabrication of aluminum extrusion dies and other dies used by the automotive industry for bending and forming products. Colt also produces vanadium-bearing shock resistant steels for use in a wide variety of applications. Sydney Steel Corporation produces a grade of vanadium-bearing steel which is used in the production of rail-car axles.

Other Vanadium-bearing Master Alloys

No titanium-aluminum-vanadium master alloys are used in Canada. However, such alloys are used by the Canadian aerospace industry to make various components.

---

[1] This assumes no change in the pattern of use. It is possible that, during a period of major pipeline construction, there may be a surge in demand for vanadium in line-pipe steel (as a dollar-saving substitute for molybdenum) and possibly increased use in rail and automotive steels.

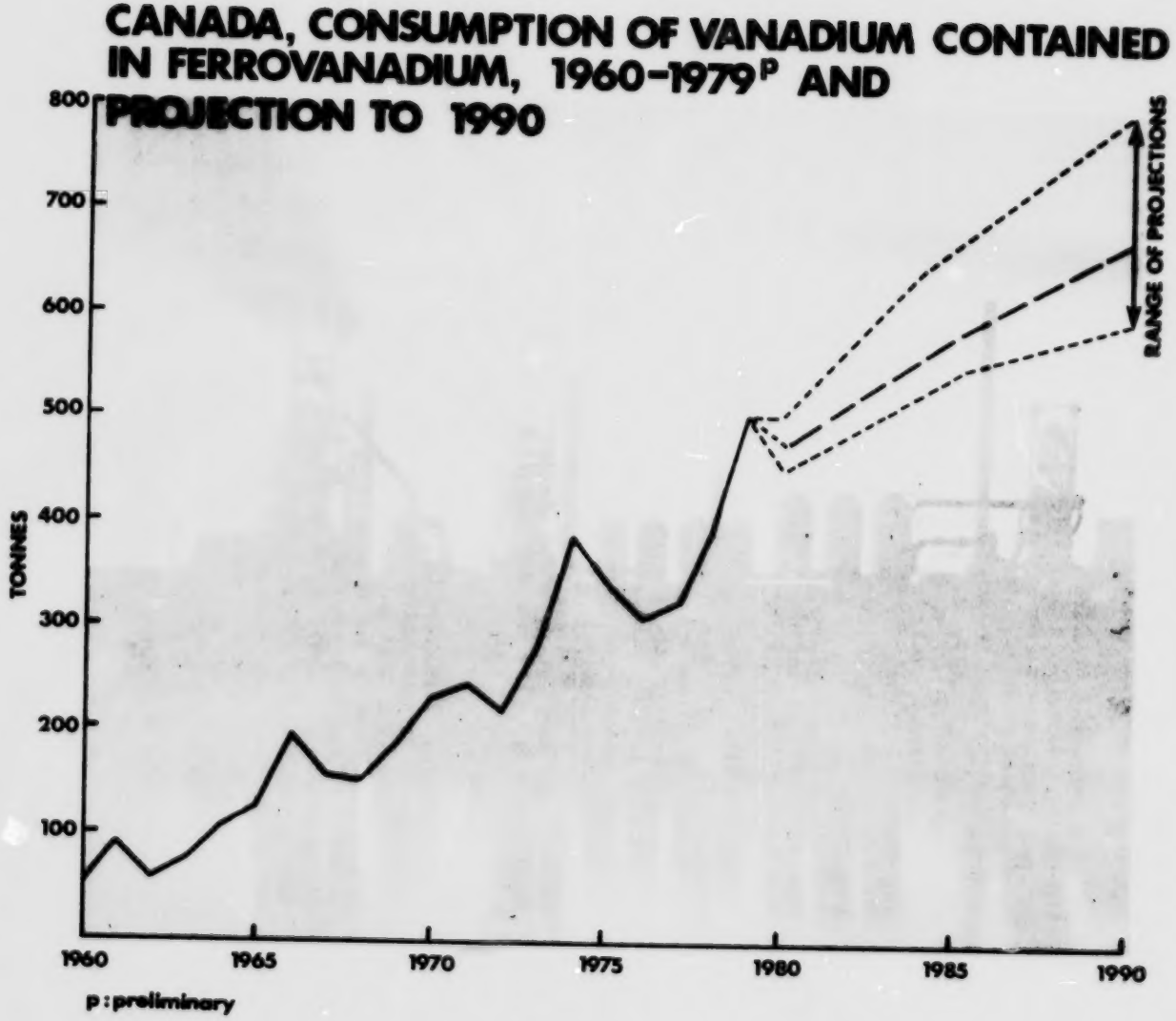
CANADA, CONSUMPTION OF VANADIUM CONTAINED IN FERROVANADIUM, 1960-1979P AND PROJECTION TO 1990
TONNES
800
700
600
500
400
300
200
100
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
RANGE OF PROJECTIONS
p : preliminary

FIGURE 1

Vanadium Chemicals

Certain vanadium chemicals are used as oxidation catalysts in the manufacture of sulphuric acid and maleic anhydride.

Canada has a sulphuric acid production capacity of about 14 250 tonnes per day. As a rough guide, an acid plant requires about 127 kilograms of catalyst (6 per cent V_2O_5) per daily tonne of capacity. Total installed catalyst therefore is about 1 800 tonnes, containing 108 tonnes of vanadium pentoxide equivalent. Replacement of catalysts to compensate for screening losses and loss of activity averages about 8 per cent per year, indicating an annual replacement demand of 8.6 tonnes of vanadium oxide.

Canadian sulphuric acid producers normally do not carry stocks of catalyst. This is basically because catalyst beds are not frequently replaced, and supplies are readily available from catalyst producers or sales representatives.

B A S F Canada Ltd. employs its own fixed-bed process and a proprietary catalyst to produce phthalic anhydride in Canada. Little information is available on this catalyst but it is understood to have a long life and to contain only 0.3 per cent vanadium. B A S F is also the only Canadian producer of maleic anhydride, which is produced as a byproduct of the phthalic process.

In the United States a vanadium-based catalyst is used in the manufacture of ethylene-propylene-diene-monomer (EPDM) rubber. This type of rubber is not manufactured in Canada.

Other uses in the Canadian chemical industry may include: the colouring of glass and ceramics, in driers, in paints and varnishes and in the processing of colour films. As little as 0.02 per cent vanadium is added to window glass to block harmful ultraviolet radiation. Modern quick-drying inks depend on an ammonium metavanadate additive for their performance.

Summary, Part II

Imported vanadium pentoxide is used by Masterloy Products Limited of Ottawa to make ferrovanadium. Domestic and imported ferrovanadium and carbon-iron-bearing master alloys are used by the Canadian steel industry to make vanadium-bearing steels.

Imported titanium-aluminum-vanadium ingot is rolled in Canada for re-export and for use by domestic manufacturers. Vanadium-bearing parts are imported by the aerospace industry.

Vanadium-based catalysts are imported for use in the manufacture of sulphuric acid and maleic acid.

PART III. CANADA'S SOURCES OF VANADIUM SUB-PRODUCTS

A. Domestic

Vanadium-bearing Concentrates

No vanadium-bearing concentrates are currently produced in Canada.

Vanadium Pentoxide

No vanadium pentoxide is now produced in Canada, either from domestic or from imported raw materials.

Ferrovanadium

About one-half the ferrovanadium consumed in Canada is produced by Masterloy Products Limited of Ottawa which makes ferrovanadium (80 per cent V, 0.03 per cent C, 18 per cent Fe) from imported vanadium pentoxide. Plant capacity is nearly 1 400 tonnes of several types of ferroalloy per year. In recent years, Masterloy has been producing about 400 tonnes of ferrovanadium a year. Theoretically, Masterloy has the capacity to meet all of Canada's ferrovanadium needs. However, several of the steel companies consume vanadium only in the form of "Carvan" produced by the Union Carbide Corporation in the United States.

Other Vanadium-bearing Master Alloys

No vanadium-aluminum master alloys or titanium-aluminum vanadium alloys are produced in Canada.

Vanadium Chemicals

No vanadium chemicals are reported as being produced in Canada.

B. Foreign

Table 3 shows the vanadium sub-products reported to be imported into Canada.

Vanadium-bearing Concentrates

No vanadium-bearing concentrates are currently imported into Canada.

Table 3

Canadian Trade in Vanadium, 1976-79

Imports		1976		1977		1978		1979	
		(tonnes)	$	(tonnes)	$	(tonnes)	$	(tonnes)	$
Vanadium Oxides									
from:	United States[1]	73	464,000	65	673,000	415	2,610,000	-	-
	Other	166	368,000	49	256,000	-	-	-	-
	Total	239	832,000	114	929,000	415	2,610,000	-	-
Ferrovanadium[2]									
from:	United States[1]	105	884,000	138	1,185,000	119	1,155,000	352	3,699,000
	South Africa	-	-	-	-	32[3]	462,000	-	-
	Total	105	884,000	138	1,185,000	151	1,617,000	352	3,699,000
Other Vanadium Alloys									
from:	United States[1]	20	-	"C"		"C"		-	-
	Other	4	-					-	-
	Total	24	-	"C"		"C"		-	-

Source: Statistics Canada.

[1] Canadian data: considerable discrepancies exist between Canadian and United States trade data. [2] Gross weight.
[3] Seems to refer to various types of ferrovanadium.

"C" Confidential; - Not available.

Note: Exports of vanadium are grouped with a variety of other metallic items.

Vanadium Pentoxide

Imported vanadium pentoxide flake, currently used by Masterloy Products Limited of Ottawa to make ferrovanadium, is purchased by its parent company, International Minerals & Chemical Corporation of New York. While, in the past, small quantities of feed have been purchased from Finland and a variety of metal traders, in recent years some 80 per cent of the feed has been obtained from South Africa with the remaining 20 per cent originating in the United States. The South African material is generally received through the port of Montreal. Stocks held are normally in the order of six weeks' consumption.

Ferrovanadium

Imports account for about one-half of the ferrovanadium consumed in Canada. United States companies, particularly the Union Carbide Corporation, are major sources of supply. Smaller quantities are imported directly from South Africa or are purchased from international traders. In the past, considerable amounts of ferrovanadium were imported from the U.S.S.R.

The domestic steel companies that import ferrovanadium do not as a rule maintain large stockpiles. On average, a one-month supply is held; but some companies hold no stocks at all and purchase only as the need arises. There are basically two reasons for keeping ferrovanadium stocks to a minimum, it is expensive to finance them, and the material is readily available from producers. The steel companies do not foresee any supply difficulties.

Algoma Steel, one of the country's largest consumers of vanadium, purchases "Carvan" direct from a warehouse owned by Union Carbide, a United States company, located at its plant gates. Vanadium-bearing steels are also imported to a certain extent.

Other Vanadium-bearing Master Alloys

Atlas Steels, Welland, Ontario, imports second-melt titanium-aluminum-vanadium ingot from the United States and rolls it for domestic manufacturers and for re-export to that country.

Vanadium-bearing titanium alloys used by the Canadian aerospace industry are imported - apparently primarily from the United States - although manufacturers also report actual or potential suppliers in France, West Germany and the United Kingdom.

Vanadium-bearing aircraft parts are also imported. Certain aerospace manufacturers have long-term contracts with suppliers.

As far as can be ascertained, Canadian aerospace manufacturers do not hold significant inventories of alloys, shapes or parts. This appears to be due to the high cost of carrying stocks and to the existence of close or contractual links with their suppliers.

Vanadium Chemicals

Vanadium chemicals are not manufactured in Canada and must all be imported, mainly from the U.S. but also from Europe. The principal suppliers of

vanadium catalysts include the Monsanto Company, Haldor Topsøe A/S of Denmark (a subsidiary of Ente Nazionale Idrocarburi [E.N.I.] of Italy), I.S.C. Chemicals Ltd. (a subsidiary of the Rio Tinto-Zinc Corporation Limited) of England and Elkem-Spigerverket A/S of Norway, a manufacturer with a vanadium pentoxide-producing subsidiary also located in Norway.

C. World Supply Capability

Vanadium-bearing Concentrates

i) World Reserves

World reserves of vanadium, as reported in the mid-1970s, are shown in Table 4. These figures presumably represent exploitable material that is reasonably well known. The principal reserves are in South Africa and the U.S.S.R. The United States currently has only some 1 per cent of world reserves.

Table 4

World Reserves: Estimated Vanadium Pentoxide Equivalent

	(V_2O_5 equivalent content)	
	(tonnes)	(%)
Australia	242 900	1.4
Chile	242 900	1.4
Finland	89 000	0.5
India	161 900	0.9
Norway	32 400	0.2
Republic of South Africa	3 239 000	18.7
United States	186 200	1.1
U.S.S.R.	12 955 900	74.8
Venezuela	161 900	0.9
World Total (rounded)	17 328 500	100.0

Source of data: Based on U.S. Bureau of Mines, "Vanadium-1977", **Mineral Commodity Profile MCP-8**, p.5.

ii) World Output in Recent Years

The principal world producers of vanadium in ores and concentrates are shown in Figure 2. Details of their output in recent years are presented in Table 5.

Major shifts in the relative importance of vanadium-producing countries have occurred since the early 1960s. Over this time period, the percentage of world production accounted for by South Africa and Namibia has increased from about 21 per cent to 42 per cent while that of the United States has declined from 69 per cent to 18 per cent. Since 1969, Finland has become a significant producer, accounting for some 6 per cent of world production in 1977. Finland's output increased in 1979 when the Mustavaara Mine[1] increased its level of production.

iii) Current Western World Vanadium Pentoxide Supply Capability

Current western world vanadium pentoxide production capacity is estimated at 49 895 tonnes per year (see Table 6).

In 1979 "total shipments from Western World production sources ... are estimated to have been ... approximately 82 per cent of the Western World's existing V_2O_5 production capacity"[2] amounting to some 47 890 tonnes of V_2O_5 equivalent.

In 1979 "vanadium use in the Western World ... rose to ... [36 287 tonnes] of vanadium oxide (V_2O_5)"[3], that is to say, to some 76 per cent of Western World production capacity in that year. In addition, some 1 800 tonnes of V_2O_5 equivalent were exported to Eastern Bloc nations.

iv) Planned Expansions to World Supply Capability

Despite the existence of underused capacity[4] present and planned western world capacity is expected to increase to 61 689 tonnes of vanadium pentoxide per year (Table 6). A list of probable new producers is given in Table 7.

---

1 E. Hukkanen and T.L. Lindholm, "Mustavaara Mine Doubles Finn's Vanadium Production", **World Mining** , July 1979, pp. 46-49.

2 R.R. Gottschalk, "Vanadium", **Engineering and Mining Journal** , March 1980, p. 107.

3 Gottschalk, **op.cit.**, p. 104.

4 For example, during the summer of 1980, two of the world's most important producers of vanadium pentoxide; Highveld Steel and Vanadium Corporation Limited of South Africa, and the Union Carbide Corporation, with operations in the United States and South Africa, announced cut-backs in production of from 17 700 tonnes per year to 8 000 tonnes per year, and 5 000 tonnes per year to between 2 300 and 2 700 tonnes per year, respectively. See "V_2O_5 Production Cut Half by Falling Demand", **The Tex Report**, Vol. 12, No. 2,815, September 2, 1980, p. 15.

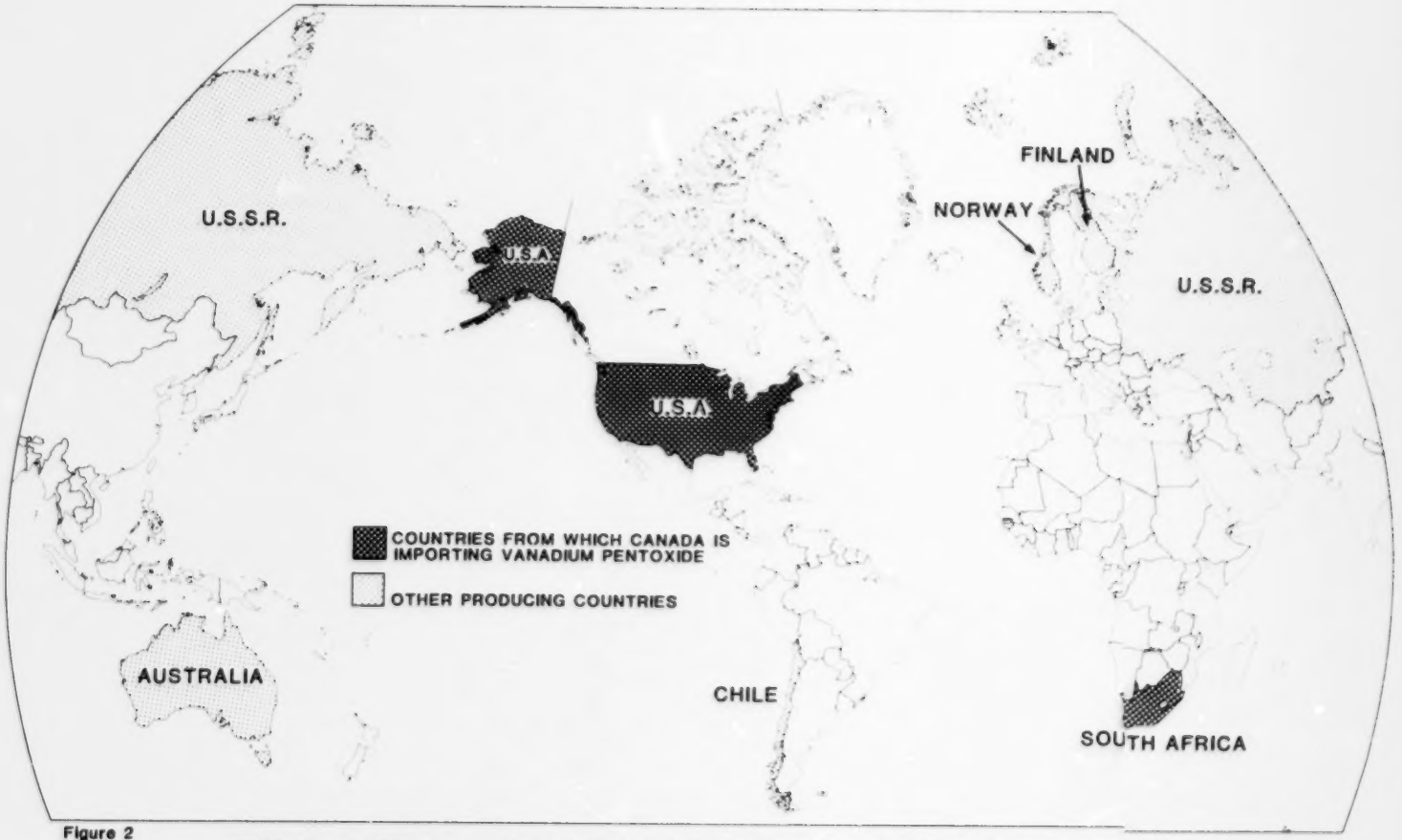

Figure 2

PRINCIPAL PRODUCERS OF VANADIUM IN ORES AND CONCENTRATES, 1980

Table 5

Estimated World Production of Vanadium Pentoxide Equivalent From Ores And Concentrates, by Country, Selected Years from 1960 to 1978

	1960	1970	1977P	1978	1979e
	(tonnes of vanadium pentoxide equivalent)				
Chile	-	988e[1]	1 539e[1]	1 231	1 215
Finland	1 012	2 348[2]	3 328[2]	- [3]	- [3]
Namibia	1 357[4]	1 069e[5]	1 328e[5,6]	0	0
Norway	-	1 927e	972e	- [3]	- [3]
South Africa	1 062[7]	12 089e[7]	20 062e[7]	20 082	24 535
United States	8 050[4]	8 614[4]	10 533[4]	8 429[8]	10 203[8]
U.S.S.R.	-	5 469[9]	16 195e	16 195e	16 195e
Other Countries	236	162e	-	6 546	5 911
Total	11 719e	32 667	53 956	52 482	58 059

Sources of data: U.S. Bureau of Mines, **Minerals Yearbook,** Volume I: 1964,. p. 1147; 1972, p. 1292; and 1977, p. 985; U.S. Department of the Interior, **Mineral Commodity Summaries**: 1979, p. 177; and 1980, p. 179.

[1] Based on U.S. imports of vanadium-bearing slag. [2] Vanadium in vanadium pentoxide product. [3] Included in "Other Countries". [4] Recoverable vanadium. [5] In lead-vanadate concentrate. [6] Represents output of South West Africa Co. Ltd. for the year ending June 30, 1977. [7] The Republic of South Africa officially reports the undistributed total production of vanadium in pentoxides and vanadate products as well as in vanadium-bearing slags. Data on vanadium content of vanadium slag are estimated on the basis of a reported tonnage of vanadium-bearing slag (gross weight) multiplied by an assumed grade of 14 per cent vanadium. Vanadium content of pentoxide and vanadate products represents the difference between the reported total and the calculated estimate for vanadium in slag. [8] Recovered basis. [9] In slag exports.
e Estimated; P Preliminary; - Not available.

Table 6

Nominal Western World Vanadium Pentoxide Production Capacity

Region	Present (1980) capacity		Present plus planned capacity	
	tonnes/year V_2O_5	per cent	tonnes/year V_2O_5	per cent
South Africa	25 401	50.9	28 123	45.6
North America	16 329	32.7	22 680	36.8
Europe	5 897	11.8	5 897	9.5
Others	2 268	4.6	4 989	8.1
Total	49 895	100.0	61 689	100.0

Source of data: Highveld Steel and Vanadium Corporation Limited, **Annual Report 1980**, p.9.

Table 7

Planned Expansions to World Vanadium Production Capacity

Company	Location	Comments
Bank Handlowy Warszawa, (State Bank) Poland	Krzemionka, near Suwalki, Poland	$430 million financing arranged by West Germany. Metallgesellschaft A.G. to receive vanadium and ilmenite when mined, possible annual capacity 12 500 - 15 000 tonnes of V_2O_5, late 1980s.
Industrial Promotion and Investment Corporation of Orissa Ltd. (Ipicol)	Orissa, India	Byproduct from pig iron operation, 435 tonnes ferrovanadium per year, 1983.
Pioneer Uravan, Inc.	Slick Rock, Colorado	Byproduct of uranium mining, 1 361 to 1 814 tonnes V_2O_5 per year, 1982.
Western Mining Corporation Limited	Yeelirrie, Western Australia	Byproduct of uranium mining, 998 tonnes V_2O_5 per year, 1984.

Sources of data: R.R. Gottschalk, "Vanadium", **Engineering and Mining Journal**, March 1979, p. 137, and March, 1980, pp. 107-108; U.S. Bureau of Mines "Vanadium in November 1979" **Mineral Industry Surveys: Vanadium (Monthly)**, p. 1.

Other possible future non-Canadian sources of production include recovery from conventional crude oils and tar sands in Venezuela, and from vanadium-bearing flue dusts in Sweden. "A mineralized zone containing [91] million [tonnes] of titanium and vanadium-bearing material ... in the Campo Alegre de Lourdes area between the states of Bahia and Piaui", Brazil, is reported to contain 0.7 per cent V_2O_5 and it is "expected that about [454] million [tonnes] of ore [may] eventually be delineated"[1].

An Australian company, Ferrovanadium Corporation, is evaluating the possibility of producing some 10 000 tonnes of vanadium pentoxide a year from an iron-titanium-vanadium deposit at Barrambie, 500 kilometres north of Perth in Western Australia[2].

Ferrovanadium

The principal ferrovanadium production plants located outside the U.S.S.R. are listed in Table 8. The increasing role of the Republic of South Africa as a producer of ferrovanadium is believed to be an important factor in the world picture.

Other Vanadium-bearing Master Alloys

Other vanadium-bearing master alloys are produced in the United States and Western Europe. United States manufacturers are believed to include Reactive Metals and Alloys Corporation, Reading Alloys, Inc., Shieldalloy Corporation and the TIMET Division of Titanium Metals Corporation of America.

Vanadium Chemicals

Vanadium catalysts are produced in the United States, Denmark, the United Kingdom, West Germany and Japan. The two biggest manufacturers are Monsanto Company whose plants are located in the United States and Haldor Topsøe of Denmark. Japanese output is considered to be small relative to that of other countries.

---

1 "Vanadium in August 1979", U.S. Bureau of Mines, **Mineral Industry Surveys: Vanadium, (Monthly)**, p. 1.

2 See J. McIlwraith, "West Australian Vanadium Launch by Agnew Clough", **The Mining and Oil Review**, June 26, 1980.

Table 8

Major World Ferrovanadium[1] Production Plants[2,3],

Austria	Treibacher Chemische Werke A.G., Treibach.
Belgium	SADACEM S.A.-Applications de la Chimie, de l'Electricité et des Métaux, Langerbrugge.
Brazil	Electrometalur SA. Prometal Produtos Metalúrgicos S.A., Sao Paulo. Termoligas Metalúrgicas S.A., Salvador, Bahia.
Canada	Masterloy Products Limited, Ottawa, (International Minerals & Chemical Corporation group).
France	Société Française d'Electrométallurgie S.A. SOFREM, (Péchiney group).
Hungary	Otvözetgyar, Salgótarján.
India	Electric Control Gear Private Ltd., Ahmedabad.
Italy	Societa per Az. Leghe e Metalli (S.A.L.E.M.), Genoa, (AMAX group).
Japan	Awamura Metal Industry Co., Ltd., Uji. Japan Metals & Chemicals Co. Ltd., Oguni. Nippon Denko KK, Hokuriko. Taiyo Mining & Industrial Co., Akawo.
Luxembourg	Continental Alloys S.A., Luxembourg, (International Minerals & Chemical Corporation group).
Mexico	Ferroaleaciones de Mexico, S.A., Mexico.
Netherlands	Maxalloys B.V., (Treibacher group).
Norway	Bremanger Smelteverk, Svelgen, (Elkem-Spigerverket A/S).
South Africa	Highveld Steel and Vanadium Corporation Limited, Highveld, (Newmont Mining Corporation group). Thermometallurgical Corp. (Pty) Ltd., Johannesburg. Ucar Minerals Corporation, (Union Carbide Corporation group).
Spain	Ferroaleaciones Asturianas, Avilés.
Sweden	A.B. Ferrolegeringar, (Metallurg, Inc. group). Kema-Nord A/S, Stockholm.
United Kingdom	Ferro Alloys & Metals Ltd., Glossop, (Neepsend group). High Speed Steel Alloys Ltd., Widnes, (British Oxygen Ltd. group). London & Scandinavian Metallurgical Co. Limited, London, (Metallurg, Inc. group). Minworth Metals Ltd., Stowmarket, (AMAX group). Murex Limited, Rainham, (British Oxygen Ltd. group).

Table 8 (continued)

United States	Engelhard Minerals & Chemicals Corporation, Strasburg, Virginia. Foote Mineral Company, Exton, Pennsylvania. Reading Alloys, Inc., Robesonia, Pennsylvania. Shieldalloy Corporation, Newfield, New Jersey, (Metallurg, Inc. group). Union Carbide Corporation, New York City, New York.
West Germany	August-Thyssen-Hütte A.G., Duisburg. Badische Wolframerz G.m.b.H., Düsseldorf. Gesellschaft für Elektrometallurgie m.b.H., Düsseldorf. Metallhütte Mark K.G. Hamburg. Otavi Minen-und Eisenbahn-Gesellschaft, Frankfurt am Main, (Norddeutsche Affinerie group). Rochling'sche Eisen-und Stahlwerke G.m.b.H., Volklingen.

Sources: Based on "World Ferro-Alloy Producers Directory, Parts 1 and 2", in **Ferro-Alloys: A Special Issue,** Metal Bulletin Ltd., London, 1971, pp 130-195; U.S. Bureau of Mines, "Vanadium-1977", **Mineral Commodity Profile MCP-8,** p. 2; and (for Japan) **1979 Ferro Alloy Manual,** The TEX Report Co., Ltd., Tokyo, Japan, p. 187.

[1] Includes other vanadium-carbon-iron alloys. [2] Production capacities by plant not available. A variety of ferroalloys may be produced by an individual plant. [3] Except for Hungary, excludes facilities in non-market economies.

D. Country By Country Review

United States

The United States vanadium industry is summarized in Table 9. In 1979 the U.S. is estimated to have accounted for some 18 per cent of the world's output of vanadium in various basic forms. In that year the principal vanadium oxide producers in the country were the Atlas Corporation, the Kerr-McGee Corporation and the Union Carbide Corporation. Foote Mineral Company's Cambridge, Ohio, plant uses vanadium-oxide-bearing slag imported from South Africa to make ferroalloys.

A part of the United States consumption and export requirements is satisfied by imports. In 1979, U.S. "net import reliance" was 25 per cent of its apparent consumption[1]. Over the period 1975-78, its import sources were: the Republic of South Africa, 57 per cent; Chile, 25 per cent; the U.S.S.R., 6 per cent and other countries, 12 per cent.

[1] U.S. Bureau of Mines, **Mineral Commodity Summaries 1980,** p. 178.

Table 9

Vanadium Industry in the United States

Name	Mines	Primary Processing Plant	Intermediate Plant
1. Atlas Corporation	Colorado Plateau (U-V)	Moab, Utah (U-V)	-
2. Cotter Corporation (Commonwealth Edison Company of Chicago)	Colorado Plateau (U-V)	Canon City, Colo. (U-V)	-
3. Foote Mineral Company (Newmont Mining Corporation)	-	-	Cambridge, Ohio (ferro-alloys, V.) using purchased oxide imported slags from Highveld Steel and Vanadium Corporation Limited. South Africa and possibly Chile and the U.S.S.R.
4. Gulf Chemical and Metallurgical Co.	-	Texas City, Texas[1]	-
5. Kerr-McGee Corporation	-	Soda Springs, Idaho (from ferro-phosphorus)	-
6. Long Island Lighting Company (LILCO)	-	New York State (oil residues)	-
7. Philipp Brothers Division (Engelhard Minerals & Chemicals Corporation)	-	-	Strasburg, Va. (Ferrovanadium)
8. Ranchers Exploration and Development Corporation, Durita Plant	Colorado Plateau (U-V)	Naturita, Colo.; heap leaching of (U-V) tailings. Vanadium-bearing liquors shipped to Union Carbide's mill at Rifle for conversion to vanadium oxide.	-

Table 9 (cont'd)

Name	Mines	Primary Processing Plant	Intermediate Plant
9. Reading Alloys, Inc.	-	-	Robesonia, Pa. (Ferrovanadium)
10. Shieldalloy Corporation (Metallurg, Inc.)	-	-	Newfield, N.J. (Ferrovanadium)
11. Somex Ltd. (Engelhard Minerals & Chemicals Corporation)	-	Bartlesville, Ohio (recovery of vanadium oxide from ashes of Caribbean crude oils burned in utility boilers in the United States and Western Europe)	
12. Union Carbide Corporation	Colorado Plateau (U-V) Wilson Springs, Arkansas (Vanadium Ore)	Rifle Goth and Utavan, Colo. (U-V) Hot Springs[3], Arkansas (sent to Marietta plant)	Marietta, Ohio[2] Alloy, W. Va.

Sources of data: U.S. Bureau of Mines "Vanadium - 1977" **Mineral Commodity Profile MCP-8**, pp. 2-3. U.S. Bureau of Mines "Vanadium" in **Mineral Commodity Summaries 1979**, pp. 176-177. U.S. Bureau of Mines "Vanadium in 1979", **Mineral Industry Surveys: Vanadium**, p. 1.

[1] In 1979, recovered vanadium oxide solely from imported materials. [2] In 1980, Union Carbide Corporation's Marietta plant was sold to Elkem-Spigerverket A/S, with Union Carbide retaining the proprietary rights to "Carvan". Arrangements re future production of "Carvan" not yet made. [3] According to report in October 29, 1980 issue of **American Metal Market**, production at Hot Springs vanadium pentoxide plant suspended in August 1980.
- Nil.

Until 1975 the U.S. General Services Administration (GSA) stockpile had regularly supplied the market, using previously purchased materials. As of September 30, 1979 when stockpile objectives were 9 158 tonnes of vanadium in ferrovanadium and 2 337 tonnes of vanadium in vanadium pentoxide, the stockpile contained only 491 tonnes of vanadium in vanadium pentoxide. A recommendation that 65V-35Al alloy be added as a component of the stockpile has yet to be acted upon.

The United States is also an important exporter of vanadium materials. In the years 1978 and 1979 the main destinations for U.S. exports were: vanadium ore, Canada (49 per cent), Japan (29 per cent), Mexico (12 per cent); vanadium pentoxide (anhydride), a variety of countries including West Germany, Japan, Mexico and Austria, with only small amounts going to Canada; ferrovanadium, Japan (50 per cent), Canada (24 per cent) and West Germany (6 per cent).

Republic of South Africa

With about 19 per cent of the world's vanadium reserves, South Africa is estimated to have accounted for some 42 per cent of the world's vanadium output in 1979. In 1979 the principal South African producers of vanadium raw materials were the Highveld Steel and Vanadium Corporation and Ucar Minerals Corporation, a subsidiary of the Union Carbide Corporation of the United States.

Highveld Steel and Vanadium produces vanadium-bearing slag as a coproduct of its steelmaking operations at Witbank and vanadium pentoxide at its Vantra Division operations at Ferrobank directly from ore produced at its Mapochs mine near the village of Roosenekal in the Middelburg district of Transvaal. Ucar Minerals operates a mine concentrator and refineries at Brits and Bon Accord[1] in the Transvaal.

A third company, Transvaal Alloys (Pty.) Ltd. operates a vanadium plant at Wapadskloof, some 105 kilometres northeast of Middelburg[2], using raw material from a titaniferous magnetite deposit near Uitvlugt, Transvaal.

Until 1978 the South West Africa Co. Ltd. recovered vanadium from the Berg Aukus lead-zinc-vanadium mine in neighbouring Namibia, with concentrates grading 18 per cent V_2O_5.

Vanadium-bearing slag from Highveld is processed by a direct reduction method into "Ferovan" at the Cambridge, Ohio, U.S. works of the Foote Mineral Company and is also converted to fused vanadium pentoxide and subsequently ferro-vanadium at the Treibacher Chemische Werke company's plant at Treibach, Austria.

Australia

The first vanadium mine in Australia, the Agnew Clough operation at Coates Siding near Perth, Western Australia, came into operation in the summer of 1980[3].

---

[1] According to a report in the October 29, 1980 issue of **American Metal Market**, production at the Bon Accord vanadium pentoxide plant was suspended in August 1980.
[2] U.S. Bureau of Mines, "Vanadium in 1976", **Mineral Industry Surveys: Vanadium**, p. 2.
[3] J. McIlwraith, "West Australian Launch by Agnew Clough", **The Mining and Oil Review**, June 26, 1980.

Initial output is expected to be in the order of 1 600 to 1 800 tonnes of vanadium pentoxide per year. Between 500 and 800 tonnes will be bought by a Japanese trading company, Nissho Iwai Co., Ltd., which participated in the financing of the project; the balance of production will be shipped to the Hamburg plant of Metallhütte Mark K.G. in West Germany. The company now has commitments for the next seven years for the total capacity of its present plant[1]. A decision as to whether to launch a second plant that would more than double output should be made in a year or so.

U.S.S.R.

According to reported figures, the U.S.S.R. accounts for the greatest share of world reserves (74.8 per cent) and of estimated world output (28 per cent in 1979. It is estimated to produce in the order of 9 000 tonnes of vanadium equivalent a year in the form of a vanadium-bearing slag as a byproduct of smelting of titaniferous magnetite from the Kachkanar open pit in the Ural Mountains and from Lisakovsk in Kazakhstan. In 1977, the U.S.S.R. was reported to be planning to install vanadium recovery units at some alumina plants in order to produce vanadium pentoxide from bauxite residues.

Other Countries

Among other countries with established vanadium industries are Chile, Finland and Norway, which in 1977 accounted for 1.4 per cent, 0.5 per cent and 0.2 per cent of world reserves (and 2.9, 6.2 and 1.8 per cent of world production) respectively.

The Chilean producer of vanadium raw materials is the Huachipato plant of Compania de Acero del Pacifico which produces vanadium-bearing slag for export. In Finland, vanadium-bearing raw materials are produced by Rautaruukki Oy, from the Otanmaki (some 2 000 tonnes of V_2O_5 per year) and Mustavaara (some 2 720 tonnes of V_2O_5 per year) mines. In Norway, the producer is A/S Rødsand Gruber, a subsidiary of Elkem-Spigerverket.

In Japan, "Taiyo Mining and Industry of Kobe ... has installed a plant to recover a reported [399 tonnes per year] of V_2O_5 from molybdenum-based catalysts used in desulphurizing heavy crude oils"[2]. A plant capable of producing tens of thousands of tonnes of vanadium slag annually from vanadiferous-titaniferous magnetite ores is reported to be operating at Panzihua, Szechuan Province, China.

Summary, Part III

With the exception of ferrovanadium, itself produced from imported raw materials, Canada is, as shown in Table 10, entirely dependent upon imports for all of its vanadium sub-products. Stocks of vanadium pentoxide held are normally in the order of six weeks' consumption, while those of ferrovanadium are unlikely to exceed one month's requirements.

The main world producers of vanadium raw materials are the Republic of South Africa, the U.S.S.R. and the United States. Relatively minor amounts are produced in Norway, Finland, Chile and Australia.

---

1 "Agnew Clough Commits New Plant's Vanadium", **Metals Week**, April 21, 1980, p. 6.
2 R.R. Gottschalk, "Vanadium", **Engineering and Mining Journal**, March 1980, p. 107.

Table 10
Canada's Sources of Vanadium Sub-Products

	Domestic	Foreign
A. Vanadium-bearing Concentrates	Nil	Nil
B. Vanadium Pentoxide	Nil	80% from South Africa, 20% from U.S.
C. Ferrovanadium	Half of consumption obtained from imported vanadium pentoxide	Half of consumption from U.S. and South Africa
D. Other Vanadium-bearing Master Alloys	Nil	Imports from United States (some re-exported to U.S.)
E. Vanadium Chemicals	Nil	Imports from U.S. and Europe

Foreign ferrovanadium production is centred in the United States, South Africa and Western Europe. Other vanadium-bearing alloys are manufactured in the United States and Western Europe. The industry is characterized by established corporate links. Barring disruptions, present and planned world supply capacity is fully sufficient to meet current and foreseen Canadian needs.

PART IV. ALTERNATIVE SOURCES OF SUPPLY

Vanadium Pentoxide

i) From Current Foreign Producers

At present, Canada imports all its requirements of vanadium pentoxide for the production of ferrovanadium. The principal source of Canadian imports is reported as the United States, but much of the material is believed to have originated in South Africa.

According to an article in the **Metal Bulletin Monthly**[1], the United States is capable of producing some 12 250 tonnes of vanadium pentoxide per year from its three principal domestic mining districts. Over the four-year period 1975-78 it produced, on average, some 8 700 tonnes of vanadium pentoxide per year from domestic source materials, drew 400 tonnes a year from stocks, and annually imported some 6 100 tonnes of vanadium pentoxide in various forms to meet average annual apparent consumption of 13 700 tonnes of pentoxide equivalent and exports of 1 500 tonnes of such material.

At the end of 1979, U.S. producer and consumer stocks[2] were equivalent to some four and one-half months' apparent consumption. The national stockpile only contains a few weeks' supply of vanadium pentoxide.

Given its existing excess vanadium pentoxide production capacity, the United States could lose up to 50 per cent of its import sources (Republic of South Africa, 57 per cent) before having to cut back on exports to maintain supplies to domestic consumers.

In the past, Finland has been a source of supply for Canada; Australia might, in the future, provide an alternative source of supply.

ii) From Possible Canadian Producers

Between 1971 and June 1973, Masterloy Products Limited (Ottawa) produced vanadium pentoxide from a sodium fluorovanadate residue from an Aluminum Company of Canada, Limited (Alcan) leaching circuit, from fly ash from Hydro-Quebec and from imported fly ashes. Masterloy's vanadium pentoxide production operations ended when Alcan changed the bauxite ore that is processed at its Arvida plant to one with a lower vanadium content making it uneconomic for that company to continue the recovery of sodium fluorovanadate; and also, at about the same time, Hydro-Quebec ceased to burn high-vanadium Venezuelan fuel oil in its power plants.

From 1965 to 1971 Petrofina Canada Inc. produced vanadium pentoxide (99 per cent V_2O_5) as a byproduct at its Pointe-aux-Trembles, Quebec refinery, near Montreal. The lighter components of the crude oil processed were removed by fractional distillation leaving a residual fuel which was, in turn, burned to provide steam for the distillation process. Vanadium pentoxide was extracted from the fly ash (containing 10.0 per cent or more V_2O_5) from the combustion of the residual oil.

---

[1] "Vanadium: Future Supplies Assured". **Metal Bulletin Monthly**, No. 108, December 1979, pp. 43-47.

[2] At the end of May, 1980, U.S. consumer stocks alone were in the order of one and one-half months' U.S. consumption of ferrovanadium, six months' consumption of vanadium oxide and of ammonium metavanadate, and close to two months' consumption of vanadium-aluminum and other alloys.

Petrofina's operation ceased after its raw material changed from a relatively high (130 parts per million) vanadium-bearing Venezuelan crude oil to a Middle East crude. The plant's reported capacity was in the order of 1,000 pounds of vanadium pentoxide per day.

Both the above companies have completely dismantled their production facilities.

Vanadium resources are, however, widespread in Canada, particularly in titaniferous magnetites, oil sands, and associated with uranium ores[1].

A method for recovering the chromium, vanadium and aluminum contents of the 907-million-tonne Mingan titaniferous magnetite deposit grading 0.19 per cent V is described by B.H. Lucas and G.M. Ritcey who concluded that "Even if it were possible to sell all of the V and Cr production, the above preliminary revenue and cost estimates for feed beneficiation indicate that this part of the project prior to steel production is not economically feasible at this time"[2].

Promising metallurgical results have been obtained in tests carried out on material from the main (east zone) member of the three Lac Doré titaniferous magnetite deposits in Lemoine and Rinfret townships, some 70 kilometres by road from Chibougamau, Quebec. The east zone is estimated to contain 46 400 000 tonnes of material grading 0.53 per cent V_2O_5[3]. This grade is only about one-third that of the grade of the titaniferous magnetites being mined for vanadium in the Republic of South Africa. While this material is amenable to concentration with good recoveries, the economics of mining and extraction have yet to be fully determined.

Work is continuing to be carried out by Quebec's Centre de Recherches minérales[4] in conjunction with the Quebec Mining Exploration Company (SOQUEM).

Vanadium associated with the bitumen of the Alberta oil sands offers a chance for recovery. Although the bitumen itself contains only 0.02 (240 ppm) to 0.05 per cent V_2O_5, the fly ash, or residue remaining after the petroleum is extracted from the bitumen, contains 3.3 to 4.5 per cent V_2O_5. Great Canadian Oil Sands Division (GCOS) of Suncor Inc. is producing about 100 tonnes of fly ash per day. This operation provides a potential resource of nearly 800 tonnes of contained vanadium each year. However, for mineralogical reasons, the fly ash is not amenable to treatment by the Petrofina hydro-metallurgical process. Tests on alternate means of recovering the vanadium from the fly ash have been done by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) of the Department of Energy, Mines and Resources[5]. Additional research will be required to arrive at a commercially viable extraction technique.

---

[1] E.R. Rose, "Geology of Vanadium and Vanadiferous Occurrences of Canada", **Geological Survey of Canada, Economic Geology Report No. 27**, 130 pp.

[2] B.H. Lucas, and G.M. Ritcey, "An Alkaline Roast-Leach Process for Treatment of Titaniferous Magnetite for Recovery of Chromium, Vanadium and Aluminum", **CIM Bulletin**, Vol. 73, No. 821, September 1980, p. 131.

[3] See SOQUEM, **Rapport annuel 1979/1980**, p. 25.

[4] See I. Malinsky, "Etat de recherche sur des traitements du minerai du Lac Doré", **Ministère de l'Energie et des Ressources, Centre de Recherches minérales, Projet N° 840**, Sainte-Foy, Québec, March 4, 1980, 70 pp.

[5] A. Stemerowicz, R.W. Bruce, G.V. Sirianni, and G.E. Viens, "The Recovery of Vanadium and Nickel from Athabasca Tar Sands Fly Ash", **CIM Bulletin**, Vol. 69, No. 768, April 1976, pp. 102-108.

While the oil sands operators (GCOS and Syncrude Canada Ltd.) continue to review the economics of recovering byproduct vanadium, their overwhelming concern remains with improving their synthetic oil operations. In the past GCOS stockpiled the vanadium-bearing fly ash, but, when drainage from the stockpiles became an environmental concern, the program was terminated and all fly ash is now returned to the open pit as fill.

A promising process for hydrocracking bitumen, heavy oils and the "vacuum bottoms" from crude oils is being developed by the Energy Research Laboratories (CANMET). This process avoids both coking and burning to fly ash and the residues from it contain a relatively high concentration of vanadium and nickel. Further work is required to determine to what degree these metals can be recovered from the oil refinery "vacuum bottoms" produced.

Vanadium is also associated with uranium ores in Canada. "The possibility of recovering vanadium as a byproduct (of its mill at Beaverlodge) was given serious consideration by Eldorado Mining and Refining Limited..., but vanadium values in the lower levels proved to be erratic, ranging from 0.92 per cent on the fifth level to 0.07 per cent on the seventeenth level, and probably averaging about 0.09 per cent or less according to company geological records"[1].

If Petrofina were once again required to import vanadium-bearing Venezuelan crude oil on a reliable basis, its plant in Montreal could probably be rebuilt in one to two years. Should re-engineering be necessary, construction would probably take a further half year.

As far as the possibility of producing vanadium pentoxide from titaniferous magnetites or oil sands is concerned, given the time required for process development, pilot development, feasibility studies, project development and engineering and construction; it would probably take from five to eight years to achieve production from either of these sources.

Recent metallurgical studies on vanadium carried out by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) are listed in Appendix 4.

Ferrovanadium

i) From Current Foreign Producers

At present, in addition to making the material domestically, Canada also imports ferrovanadium from the U.S. and South Africa. As can be seen from Table 8, (page 17) there are other countries in which ferrovanadium is made that could be approached in the unlikely event of non-availability of ferrovanadium from domestic suppliers or from the United States.

ii) From Possible Additional Domestic Producers

Masterloy produces ferrovanadium from imported vanadium pentoxide. This company's plant capacity is nearly 1 400 tonnes of several types of ferroalloy per year. In recent years, however, Masterloy has been producing about 400 tonnes of ferrovanadium per year with sales approximately equally divided between Canada and the U.S. As Masterloy is only operating at about 50 per cent of capacity, the company could, given an adequate supply of pentoxide, meet all of Canada's ferrovanadium needs.

There is, accordingly, no need at this time to develop additional domestic ferrovanadium production facilities.

---

[1] Rose, **op. cit.**, p. 64.

Other Vanadium-bearing Master Alloys

i) From Current Foreign Producers

The bulk of the vanadium-bearing structural metals used by Canadian aerospace manufacturers are imported from the United States, although current and potential sources in the United Kingdom, West Germany, and France are also reported. The source of ultimate supply is determined not only by aerospace manufacturers but also by the final clients who, because of the nature of their specifications, may in effect exclude certain foreign sources.

ii) From Domestic Producers

Alcan does not make vanadium-aluminum master alloy. Atlas Steels, the only company in Canada with facilities to produce vanadium-bearing titanium alloy shapes, has not made any alloys.

Vanadium Chemicals

i) From Current Foreign Producers

All the catalysts now used in Canada are imported from the United States, Denmark, the United Kingdom or West Germany. Apart from Japan, there do not appear to be any other possible foreign sources of these products.

ii) From Possible Domestic Producers

Consideration is currently being given by Canadian industry to the possibility of making vanadium catalysts in Canada. The financial success of any such venture is considered to depend upon ready access to markets in the United States and on overcoming the effects of U.S. tariff barriers on a new entrant to the market.

Summary, Part IV

The Republic of South Africa is the principal origin of most of the vanadium pentoxide consumed in Canada. Because the United States, Canada's principal alternative supplier, also obtains some 57 per cent of its vanadium pentoxide imports from that country, a total disruption in South African supplies would pose difficulties for Canada, even though the United States does have spare production capacity.

No Canadian vanadium pentoxide could be made available from Canadian sources for at least two years. Although domestic ferrovanadium production capacity may appear to be sufficient to meet any disruptions in supply, problems would arise because of the use of special grades of ferrovanadium by steel industry manufacturers. Long-term disruptions in supply, particularly from the United States, are not considered likely.

There are no readily available alternative domestic sources of supply of vanadium-aluminum-titanium master alloys or of vanadium catalysts.

PART V. SUBSTITUTE MATERIALS

Ferrovanadium

Vanadium is used, in conjunction with other additive agents, to refine grain size in high-strength low-alloy (HSLA), tool and die, and other steels, thereby increasing yield strength and toughness. Varying proportions and combinations of columbium, molybdenum, titanium, tungsten, chromium and nickel could be substituted for vanadium to achieve the desired characteristics.

In the case of tool steels, for example, if vanadium became unavailable, other tool steels containing little or no vanadium could be substituted for most applications. If such substitutions were made, there is no doubt that modifications to existing rolling, heat treating and annealing techniques would be necessary.

Other Vanadium-bearing Master Alloys

Vanadium-bearing titanium alloys are vital for certain aircraft engine applications and for such uses there are no immediate substitutes. Less-effective materials could be used but these would involve higher costs and design changes and it would take at least two years to bring substitution into effect.

In other aerospace applications, some manufacturers are reported to have redesigned components to allow titanium to be replaced by stainless steel or aluminum. Some firms engage in substitution where permission can be secured from the design authority, often foreign-based.

To a large extent, Canadian aerospace manufacturers are tied to foreign specifications with respect to materials used. Any substitution of materials is therefore highly dependent on specific companies, specific applications, and the relationship between manufacturers and design authorities.

Vanadium Chemicals

Theoretically platinum can substitute for vanadium. However, the use of more expensive platinum catalysts, which are prone to poisoning, would require major revisions to the gas cleaning and converter equipment.

Summary, Part V

Given time, other metals such as molybdenum could be substituted for vanadium in certain steels, and platinum could be used in sulphuric acid plants. Vanadium-bearing titanium alloys are, however, vital for certain aircraft engine applications and in these cases there are no current or foreseeable substitutes.

PART VI. GENERAL SUMMARY AND CONCLUSIONS

1. Sub-Products Used in Canada

Canadian industry uses vanadium in the forms of vanadium pentoxide, ferrovanadium, other vanadium-bearing alloys and vanadium chemicals.

2. Canadian Uses

Vanadium pentoxide is used to produce ferrovanadium master alloys; ferrovanadium master alloys are used in the manufacture of high-strength low-alloy and other steels used principally by the tool-making, automotive, pipeline construction, and aerospace industries.

Titanium-aluminum-vanadium alloys are used by the aerospace industry; certain of them are vital for specific aircraft engine applications.

Vanadium chemicals are used to make highly specialized and often proprietary catalysts designed for use in specific chemical plants. Although the total quantity of vanadium used for this purpose is small, the availability of such catalysts is essential to the continued operation of Canadian plants producing materials such as sulphuric acid, maleic anhydride and phthalic anhydride.

3. Current Sources

In recent years some 80 per cent of the vanadium pentoxide imported into Canada is considered to have originated in the Republic of South Africa, the remaining 20 per cent or so originated in the United States. About one-half of the ferrovanadium used in Canada is made by Masterloy Products Limited of Ottawa from imported vanadium pentoxide; the rest of the ferrovanadium required is brought in, chiefly from the United States. Vanadium-bearing alloys other than ferrovanadium are imported mostly from the United States but also from countries in Western Europe. Vanadium chemicals are imported from Western Europe and the United States.

4. Possible Domestic Sources

In the past, vanadium pentoxide has been produced in Canada from residues and fly ashes from the refining of imported crude oil. At present, the best prospect for profitable recovery of vanadium in Canada is considered to lie in the recovery of the vanadium associated with the oil sands and heavy oils of Alberta and Saskatchewan. Domestic vanadium recovery from imported Venezuelan crude would take one to two years to achieve.

5. World Supply

In 1979, three countries accounted for some 88 per cent of the world's supply of vanadium from ores and concentrates: the Republic of South Africa, 42 per cent; the U.S.S.R., 28 per cent; and, the United States, 18 per cent.

Given the significance of the Republic of South Africa and the U.S.S.R. in the world production scene, the question of the degree of security of Canada's

supplies of vanadium raw materials is a pertinent one. United States supply capability is, however, well in excess of current levels of demand and it is estimated that, even if supplies of vanadium pentoxide raw materials to North America were to be cut off, the United States would have sufficient production capability, based on its own mines, to meet its own consumption requirements and existing levels of exports to Canada and other countries.

6. Substitutes

Several metallic elements - either individually or in various combinations - can be used as substitutes for vanadium as an additive in the steel industry. However, the use of such substitutes would generally require modifications in rolling, heat treatment and annealing process technology. There are no immediate substitutes for vanadium-bearing titanium alloys in certain aircraft engine applications; the substitution of other materials for vanadium in other aerospace applications would be highly dependent upon specific users, specific applications and aerospace agencies. The use of platinum instead of currently-used catalysts in sulphuric acid production would entail major revisions to equipment.

7. Stocks

Canada does not have a national stockpile of vanadium materials. Industrial stocks of vanadium pentoxide normally average six weeks' consumption, while stocks of other vanadium sub-products are not believed to exceed one months' requirements.

8. Possible Courses of Action

Possible courses of action in the face of interruptions to the supply of vanadium materials due to events outside North America are outlined in Table 11.

Table 11

Possible Courses of Action in the Face of Interruptions to the Supply of Vanadium Materials

Expected Duration of Interruption:	Vanadium Sub-Product			
	Vanadium Pentoxide (V_2O_5)	Ferrovanadium (FeV)	Other Vanadium-Bearing Master Alloys	Vanadium Chemicals
A. Two to Six Months:		a) if interruption affects both V_2O_5 and FeV supplies from overseas: / b) if interruption affects only FeV imports:		
	i) obtain additional supplies from U.S.	i) increase Canadian output of FeV using extra imports of V_2O_5 from U.S. / i) increase Canadian output of FeV	i) obtain extra supplies from U.S. instead of Europe	i) obtain extra supplies from U.S. instead of Europe
	ii) decrease demand for V_2O_5 by substituting for V in steels	ii) increase imports of U.S. origin FeV / ii) increase imports of U.S. origin FeV		
		iii) decrease demand for FeV by substituting for V in steels / iii) decrease demand for FeV by substituting for V in steels		
B. Six Months to Two Years:	i) as under A ii) develop new sources of supply e.g., Australia, Finland	as under A	as under A	as under A
C. Two to Five Years:	i) as under B ii) construct Canadian facilities for recovering V_2O_5 from imported crude oils and domestic oil sands	as under A	as under A	i) as under A ii) manufacture certain chemicals in conjunction with domestic production of V_2O_5
D. More than Five Years:	i) as under C ii) if necessary to satisfy demand, for V_2O_5 construct facilities for recovering V_2O_5 from Quebec's V-bearing titaniferous magnetite deposits	as under A	as under A	as under C

APPENDIX 1

U.S. Average Annual Price of Vanadium Pentoxide, 1970-79

Year	U.S. Price of V_2O_5 in $ Cdn./lb
1970	2.56[e]
1971	1.70[e]
1972	1.49
1973	1.50
1974	2.07
1975	2.81
1976	2.86
1977	3.14
1978	3.61
1979	3.97

Sources: 1970-71, U.S. Bureau of Mines, "Vanadium-1977", **Mineral Commodity Profile MCP-8**, p.9; 1972-79, U.S. Bureau of Mines "Commodity Data Summaries", 1977-80. Exchange rates, **Bank of Canada Review**, August 1980, p. S 113.
[e] Estimated.

APPENDIX 2

U.S. Prices of Vanadium Pentoxide and Ferrovanadium

A. Vanadium Pentoxide

		U.S. Prices in $ Cdn./lb of V_2O_5 content
i)	Fused or technical flake, (applicable to the metallurgical market)	3.99 - 5.35
ii)	Granular, technical (applicable to chemical uses)	4.47 - 5.35
iii)	Granular, high-purity (applicable to chemical uses)	7.22

B. Ferrovanadium

		U.S. Prices in $ Cdn./lb. V content
i)	U.S. "Carvan"	9.23
ii)	U.S. "Ferovan"	9.23
iii)	U.S. Producer, 70-80 per cent V, low carbon	10.13
iv)	U.S. Producer, 80 per cent V	10.13

Sources: **American Metal Market**, January 22, 1981.

Exchange Rate: **The Globe and Mail**, January 23, 1981, p. B12.

APPENDIX 3

Canadian Customs Tariffs on Imported Vanadium Materials

1. Customs Tariffs, 1980

Item No.		Rate			
		Preferential	Most Favoured Nation	General	General Preferential
32900-1	Vanadium ores and concentrates	free	free	free	free
37520-1	Vanadium oxide	free	free	5%	free
35101-1	Vanadium metal, excluding alloys	free	5%	25%	free
37506-1	Ferrovanadium	free	5%	5%	free

2. Most Favoured Nation rates under the General Agreement on Tariffs and Trade (GATT) (effective January 1 of year given)

Item No.	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
32900-1	Remains free							
37520-1	Remains free							
35101-1	4.9	4.8	4.6	4.5	4.4	4.3	4.1	4.0
37506-1	5.0	5.0	4.8	4.7	4.5	4.3	4.2	4.0

Sources: The Customs Tariffs and Amendments, Department of National Revenue, Customs and Excise Division, Ottawa; Notice of Ways and Means Motion, Customs Tariff, Department of Finance, Ottawa, 1979.

APPENDIX 4

Selected Reports on Vanadium
Prepared by The Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET)

Godden, M., "Aerospace Materials - a Survey of Research Topics" **Physical Metallurgy Research Laboratories Report MRP/PMRL 79-77 (INT)**, 9 pp.

Kinsey, H.V., "A Survey of the Titanium Alloys, their Application and their Processing and Manufacturing Technology", **Mines Branch Technical Bulletin TB 80**, March 1966, 17 pp.

Lucas, B.H. and Ritcey, G.M., "An Alkaline Roast-Leach Process for Treatment of Titaniferous Magnetite for Recovery of Chromium, Vanadium and Aluminum", **CIM Bulletin**, Vol. 73, No. 821, September 1980, pp. 126-132.

Ritcey, G.M. and Lucas, B.H., "Recovery of Chromium and Vanadium from Alkaline Solutions Produced by an Alkaline Roast-Leach of Titaniferous Magnetite", **Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 77-153 (OP)**, 45 pp.

Stemerowicz, A., Bruce, R.W., Sirianni, G.V. and Viens, G.E., "The Recovery of Vanadium and Nickel from Athabasca Tar Sands Fly Ash", **CIM Bulletin**, Vol. 69, No. 768, April 1976, pp. 102-108.

Vezina, J.A. and Gow, W.A., "The Preparation of Commercial-grade Vanadium Pentoxide from Boiler Fly Ash", **Mines Branch Technical Bulletin TB 63**, January 1965, 13 pp.

Viens, G.E., Campbell, R.A., Banks, G.N., Montgomery, E.W. and Sirianni, G.V., "Smelting of Vanadium-bearing Titaniferous Magnetite Concentrate from the Chibougamau Area of Quebec in 250 KVA Shaft-Electric Reduction Furnace", **Energy Research Laboratories Report ERP/ERL (CF) 76-78 (IR)**, 19 pp.

APPENDIX 5

General References

Broderick, G.N. "Vanadium" in U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, 1977, Vol. I, Metals and Minerals", Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1980, 1066 pp., pp. 979-987. (also prior years).

Canada, Department of Energy, Mines and Resources, "Imported Mineral Raw Materials: Guidelines for Research Policy", **Mineral Policy Sector Internal Report MRI 80/8**, 14 pp.

Gottschalk, R.R., "Vanadium: Consumption in Western World Rises to a Record High", **Engineering and Mining Journal**, Vol. 181, No. 3, March 1980, pp. 104, 107 and 108.

Johnson, R., "Vanadium" in Energy, Mines and Resources, Canada, "Canadian Minerals Yearbook, 1976", **Mineral Report 26**, Ottawa, Supply and Services Canada, 1979, 732 pp., pp. 597-602.

Taylor, H.A., Jr. and Broderick, G.N., "Vanadium" in U.S. Bureau of Mines "Mineral Facts and Problems", **Bulletin 667**, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1975, 1259 pp., pp. 1201-1211.

Thomson, A.G., "Vanadium" in "Mining Annual Review 1980", London (England), The Mining Journal, 1980, 644 pp., pp. 94-95.

United States, Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1980", Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1979, 131 pp.

United States, Bureau of Mines, "Vanadium-1977", **Mineral Commodity Profiles MCP-8**, December, 1977, 13 pp.

United States, Bureau of Mines, "Vanadium in 1979", **Mineral Industry Surveys, (Annual)**, 1979, 2pp.

United States, Bureau of Mines, "Vanadium in August 1980", **Mineral Industry Surveys, (Monthly)**, 1980, 5 pp.

United States, National Materials Advisory Board, "Vanadium Supply and Demand Outlook" (NMAB-346: National Technical Information Service PB-284 947) Washington, D.C., U.S. Department of Commerce, 1978, 125 pp.

Feb. 27/81

BULLETIN MINÉRAL MR 188

VANADIUM

UN PRODUIT MINÉRAL IMPORTÉ

DÉCEMBRE 1980

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada

Programme des Minéraux et des Sciences de la Terre
Mineral and Earth Sciences Program

Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1981

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés

et autres librairies

ou par la poste au:

Centre d'édition du gouvernement du Canada

Approvisionnements et Services Canada

Hull, Québec, Canada K1A 0S9

N° de catalogue M38-2/188F
ISBN 0-660-90652-X

Canada: $3.00
à l'étranger: $3.60

Prix sujet à changement sans avis préalable

AVANT-PROPOS

De plus en plus les Canadiens prennent conscience de l'importance de leur patrimoine minéral. Producteur de quelque 60 produits minéraux, le Canada se place au troisième rang mondial après les États-Unis et l'URSS au point de vue valeur et diversité de la production minérale et il est le plus important exportateur de minéraux au monde.

Étant donné que le Canada jouit d'une position privilégiée, non seulement en raison des importantes ressources minérales qui se trouvent à l'intérieur de ses frontières mais aussi parce qu'il peut répondre à la majeure partie de ses besoins en minéraux, plusieurs Canadiens seront peut-être surpris d'apprendre que la valeur des importations de minéraux et de produits à base de minéraux s'élève à plusieurs milliards de dollars par année.

Certains de ces produits, tels que le minerai de fer et différents minéraux industriels, sont extraits du sol canadien; d'autres, tels que la bauxite, le chrome, le manganèse et la roche phosphatée proviennent de l'étranger.

Par suite des inquiétudes actuelles relatives à la situation internationale de plus en plus instable, le gouvernement prête maintenant plus d'attention aux produits minéraux que le Canada doit importer. D'autres pays industrialisés dont la vulnérabilité économique est beaucoup plus importante que la nôtre en raison de leur degré moindre d'autosuffisance minérale, évaluent aussi plus attentivement leur situation particulière en ce qui concerne les importations de minéraux.

Afin de déterminer la vulnérabilité du Canada face à une pénurie possible d'un certain produit minéral importé, il faut tenter de répondre aux questions suivantes:

- Quels sont les pays d'origine de ce produit minéral?
- Par où passe-t-il pour arriver au Canada?
- Ces systèmes d'approvisionnements peuvent-ils être touchés par des soulèvements politiques ou autres interruptions?
- Que fabriquons-nous avec ce minéral et de quelles quantités avons-nous besoin?
- Y a-t-il d'autres sources d'approvisionnement?
- Quels sont les matériaux de substitution que l'on peut obtenir au pays ou à l'étranger?
- Quelles mesures faudrait-il prendre afin d'obtenir ce produit minéral d'une autre source ou en vue d'utiliser un substitut?
- En résumé: en ce qui concerne le minéral en question, le problème potentiel d'approvisionnement revêt-il une grande importance pour le Canada et que devrions-nous faire à ce propos dès maintenant?

Le présent rapport sur le VANADIUM - métal utilisé surtout à titre d'alliage dans l'industrie de l'acier - porte sur l'un des très rares matériaux de base que le Canada doit absolument importer à l'heure actuelle. Ce rapport est le

premier d'une série visant à évaluer les problèmes possibles d'approvisionnements de certains minéraux non combustibles, afin de fournir des informations générales pour l'établissement d'une politique gouvernementale comprenant l'orientation de la recherche qui pourrait nous aider à diminuer notre dépendance sur des sources qui se trouvent à l'extérieur du pays.

Les personnes suivantes du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources ont collaboré à la préparation de ce rapport: MM. G.M. Ritcey (Programme de recherche sur les minéraux); M.C. Campbell et W.J.S. Craigen (Laboratoires des sciences minérales); J.D. Boyd, A.F. Crawley, M.J. Godden, J.T. Jubb, J.T. McGrath, D.E. Parsons et A.J. Williams (Laboratoires de la métallurgie physique) et D. Belinko et G.V. Sirianni (Laboratoires de recherche sur l'énergie) tous membres du personnel du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie; MM. H. Baumann du Secteur de l'analyse économique et de l'orientation; G.B. Leech, D.C. Findlay et G.A. Gross de la Commission géologique du Canada; D.G. Fong, D.E.C. King et D.G. Law-West, A. Lemieux, H.L. Martin, A.J. Webb et J. Zwartendyk du Secteur de la politique minérale.

Le coordonnateur de l'étude était M. A.B.T. Werner de la section de l'évaluation des ressources, de la Division des ressources et de la mise en valeur du Secteur de la politique minérale.

Le sous-ministre adjoint intérimaire
Secteur de la politique minérale
R.D. Hutchinson

RÉSUMÉ

Ce rapport, le premier d'une série se rapportant aux produits minéraux importés, examine la position du Canada en regard des principaux matériaux de vanadium, tels: les oxydes de vanadium, le ferrovanadium, les autres alliages de vanadium et les produits chimiques à base de vanadium.

Le rapport énumère les utilisations au Canada de matériaux dérivés du vanadium et passe en revue les sources actuelles d'approvisionnement pour les usagers canadiens dans un contexte international.

D'autres sources possibles d'approvisionnement, aussi bien de l'intérieur que de l'extérieur du pays, sont prises en considération et les possibilités d'utilisation de substituts dans diverses applications sont examinées. Ce rapport a pour but de servir de fondement à l'examen d'options et suggestions quant aux politiques que devrait suivre le gouvernement.

ABSTRACT

This report, the first of a series on imported mineral commodities, examines Canada's position in regard to the principal vanadium materials: vanadium oxide, ferrovanadium, other vanadium-bearing alloys, and vanadium chemicals.

It lists the Canadian uses for these vanadium materials and discusses current sources of supply for Canadian users in an international context.

Possible alternative sources of supply, both foreign and domestic, are considered and the possibility of using substitute materials in various end-uses is examined. The report is intended to be a basis for the consideration of options and recommendations for government policy.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
INTRODUCTION	1
PARTIE I. PRINCIPAUX SOUS-PRODUITS DU VANADIUM	2
Pentoxyde de vanadium	2
Ferrovanadium	2
Autres alliages-mères au vanadium	2
Produits chimiques à base de vanadium	3
Sommaire, partie I	3
PARTIE II. PRINCIPAUX USAGES DE SOUS-PRODUITS DU VANADIUM AU CANADA	4
Concentrés vanadifères	4
Pentoxyde de vanadium	4
Ferrovanadium	4
i) Aciers à haute résistance et faiblement alliés	5
ii) Aciers à outils	5
iii) Aciers spéciaux	5
iv) Aciers au carbone	5
v) Autres aciers	5
Autres alliages-mères au vanadium	7
Produits chimiques à base de vanadium	7
Sommaire, partie II	7
PARTIE III. SOURCES DE SOUS-PRODUITS DU VANADIUM AU CANADA	8
A. A l'intérieur	8
Concentrés vanadifères	8
Pentoxyde de vanadium	8
Ferrovanadium	8

		PAGE
	Autres alliages-mères au vanadium	8
	Produits chimiques à base de vanadium	8
B.	**A l'étranger**	8
	Concentrés vanadifères	8
	Pentoxyde de vanadium	10
	Ferrovanadium	10
	Autres alliages-mères au vanadium	10
	Produits chimiques à base de vanadium	11
C.	**Capacité d'approvisionnements à l'échelle mondiale**	11
	Concentrés vanadifères	11
	i) Réserves mondiales	11
	ii) Production mondiale au cours des récentes années	12
	iii) Capacité actuelle d'approvisionnement des pays de l'ouest en pentoxyde de vanadium	12
	iv) Accroissements prévus de capacité d'approvisionnement mondial	12
	Ferrovanadium	16
	Autres alliages-mères au vanadium	16
	Produits chimiques à base de vanadium	16
D.	**Révision pays par pays**	18
	États-Unis	18
	République d'Afrique du Sud	21
	Australie	22
	URSS	22
	Autres pays	22
Sommaire, partie III		23

PAGE

PARTIE IV. AUTRES SOURCES POSSIBLES D'APPROVISIONNEMENT 24

Pentoxyde de vanadium 24

i) En provenance de producteurs étrangers actuels 24

ii) En provenance de producteurs canadiens possibles 24

Ferrovanadium 27

i) En provenance de producteurs étrangers actuels 27

ii) En provenance d'autres producteurs intérieurs possibles 27

Autres alliages-mères au vanadifères 27

i) En provenance de producteurs étrangers actuels 27

ii) En provenance de producteurs intérieurs 27

Produits chimiques à base de vanadium 27

i) En provenance de producteurs étrangers actuels 27

ii) En provenance de producteurs intérieurs possibles 28

Sommaire, partie IV 28

PARTIE V. MATÉRIAUX DE SUBSTITUTION 29

Ferrovanadium 29

Autres alliages-mères au vanadium 29

Produits chimiques à base de vanadium 29

Sommaire, partie V 29

PARTIE VI. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS 30

1. Sous-produits utilisés au Canada 30

2. Utilisations au Canada 30

3. Sources actuelles 30

4. Sources intérieures possibles 30

5. Approvisionnements mondiaux 31

6. Substituts 31

PAGE

7. Stocks 31

8. Mesures possibles à prendre 31

ANNEXES

1. Prix É.-U. moyen annuel du pentoxyde de vanadium, 1970 à 1979 33

2. Prix É.-U. du pentoxyde de vanadium et du ferrovanadium 34

3. Tarifs douaniers canadiens sur les matériaux de vanadium importés 35

4. Rapports sélectionnés sur le vanadium, préparés par le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) 36

5. Références générales 37

TABLEAUX

Tableau 1. Produits du vanadium commercialisables 1

Tableau 2. Consommation de ferrovanadium au Canada 4

Tableau 3. Canada: commerce du vanadium à l'échelle internationale 9

Tableau 4. Réserves mondiales: équivalent estimatif de pentoxyde de vanadium 11

Tableau 5. Production mondiale estimative d'équivalent de pentoxyde de vanadium à partir de minerais et de concentrés, par pays, pour des années sélectionnées, 1960 à 1979 14

Tableau 6. Capacité nominale de production de pentoxyde de vanadium des pays de l'Ouest 15

Tableau 7. Accroissements prévus de la capacité mondiale de production de vanadium 15

Tableau 8. Ferrovanadium: principales usines de production à travers le monde 17

Tableau 9. Industrie du vanadium aux États-Unis 19

Tableau 10. Canada: sources de sous-produits du vanadium 23

PAGE

Tableau 11. Mesures possibles à prendre en cas d'interruptions dans l'approvisionnement de matériaux de vanadium 32

FIGURES

1. Canada: consommation de vanadium contenu dans le ferrovanadium, 1960 à 1979 et projection jusqu'en 1990 6

2. Principaux producteurs de vanadium (contenu dans les minerais et concentrés), 1980 13

INTRODUCTION

Le vanadium sous ses formes utilisables est récupéré à partir des minerais de vanadium, des minerais de vanadium-uranium, des scories vanadifères qui se forment dans la fonte en gueuses et dans les procédés du phosphore et ainsi que dans les résidus du pétrole brut.

Le vanadium est produit sous forme de pentoxyde de vanadium, de ferrovanadium et d'autres alliages au vanadium, de produits chimiques à base de vanadium et de vanadium métal. Jusqu'à maintenant, les utilisations du vanadium métal sont extrêmement limitées[1], et il n'en sera pas question dans le présent rapport.

Tableau 1

Produits du vanadium commercialisables

Pentoxyde de vanadium	
- fondu ou en flocons	98-99 % V_2O_5
- granulaire à qualité technique	98-99 % V_2O_5
- granulaire, haute pureté	99,6 % V_2O_5
Ferrovanadium	38-80 % V

Sources: Énergie, Mines et Ressources Canada; United States Bureau of Mines, "Vanadium - 1977, **Mineral Commodity Profile**, MCP-8, p. 3.
Remarque: Pour les prix, voir "Annexes 1 et 2".

[1]Par exemple, en 1976, le United States Bureau of Mines en a fourni seize livres au Oak Ridge National Laboratory et à l'université d'Illinois à cette fin.

PARTIE I. PRINCIPAUX SOUS-PRODUITS DU VANADIUM

Pentoxyde de vanadium

Le pentoxyde de vanadium qui constitue la forme de base commerciale du vanadium d'usage industriel est produit principalement par le procédé de grillage et lixiviation des minerais, des résidus et des scories, modifiés au besoin au moyen d'une extraction de solvant ou d'échange d'ions.[1]

Ferrovanadium

Le ferrovanadium est un terme générique qui recouvre un bon nombre d'alliages-mères[2] produits commercialement par réduction du minerai de vanadium, de scories ou d'oxyde de qualité technique, avec du carbone, du ferrosilicium ou de l'aluminium, par exemple:

Ferrovanadium I et II	70 à 80 % de vanadium
Ferrovanadium III	50 à 55 % de vanadium
Ferrovanadium IV	35 % de vanadium

Aux fins de statistiques, on inclut souvent à cette catégorie deux alliages-mères ayant chacun leur propriété unique et porteurs de vanadium-carbone-fer soit:

"Carvan"	- produit par la société Union Carbide Corporation, É.-U.	de 82 à 86 % de vanadium de 10,5 à 14,5 % de carbone et 0,1 % (maximum) de silicium
"Ferovan"	- produit par la société Foote Mineral Company, É.-U.	42 % de vanadium, 7 % (maximum) de silicium, 4,5 % (maximum) de manganèse, et 0,85 % (maximum) de carbone.

Les alliages-mères au vanadium servent à fabriquer toute une variété d'aciers au vanadium.

Autres alliages-mères au vanadium

Les alliages-mères vanadium-aluminium (65 % V-35 % Al ou 50 % V - 50 % Al), produits par le procédé aluminothermique utilisant du V_2O_5, servent à la production d'alliage de titane au vanadium,[3] particulièrement Ti-6Al-4V, Ti-6Al-6V-2Sn

---

[1]Voir la partie intitulée "Vanadium" dans l'ouvrage "Mineral Facts and Problems", **Mineral Bulletin 667**, p. 1204, du United States Bureau of Mines. [2]Il s'agit d'un alliage, contenant de grandes quantités d'un ou de plusieurs additifs définis, qu'on peut ajouter à la fonte afin d'augmenter le pourcentage du produit qu'on désire obtenir. [3]Voir l'article intitulé **"Vanadium Supply and Demand Outlook"**, du U.S. National Materials Advisory Board, p. 96.

et Ti-8Al-1Mo-1V. Ces trois alliages[1] sont utilisés par les manufacturiers de matériel aérospatial. Leur très haute résistance et leur faible poids constituent des avantages importants dans la fabrication de palettes de compresseur de moteur à réaction, de disques et de tuyère de distribution pour moteurs à réaction. Ils entrent également dans la fabrication de plaques de blindage, de chars de combat et de systèmes de suspension, de même que dans celle de quincaillerie marine et de véhicules de plongée.

Produits chimiques à base de vanadium

Une variété de produits chimiques à base de vanadium tel que le vanadate de sodium, le métavanadate d'ammonium, le métavanadate de potassium et l'oxytrichlorure de vanadium sont utilisés dans l'industrie, particulièrement pour la production de catalyseurs, comme ingrédients de glaçures colorées pour les émaux de porcelaine et pour les céramiques, comme siccatifs dans les peintures et les vernis et dans la fabrication de phosphore pour les lampes de téléviseurs.

Sommaire, partie I

Il y a quatre principaux groupes de sous-produits du vanadium: le pentoxyde de vanadium, le ferrovanadium, les autres alliages-mères à base de vanadium et les produits chimiques à base de vanadium qui sont utilisés par l'industrie.

---

[1]Les autres alliages au vanadium qui appartiennent au groupe carbone et acier faiblement allié, au groupe de l'acier durci par précipitation, au groupe d'acier à très haute résistance, au groupe de l'acier inoxydable martensitique, au groupe d'acier au nickel et au chrome, et à chacun des groupes d'alliages à l'aluminium, au nickel et au columbium servent également à des applications aérospatiales tel que le train d'atterrissage, mais à un degré moindre que les alliages au titanium vanadifères.

PARTIE II. PRINCIPAUX USAGES DE SOUS-PRODUITS DU VANADIUM AU CANADA

Concentrés vanadifères

Le Canada ne produit ou n'utilise aucun concentré vanadifère en ce moment.

Pentoxyde de vanadium

Le pentoxyde de vanadium sert à la fabrication de ferrovanadium par réduction aluminothermique et est utilisé par la Masterloy Products Limited d'Ottawa (voir page 08).

Ferrovanadium

Au Canada, l'alliage-mère de ferrovanadium sert à fabriquer plusieurs types d'acier. Le tableau 2 donne la consommation de ferrovanadium au Canada depuis 1975.

Tableau 2

Consommation de ferrovanadium au Canada

	Poids brut	Contenu de vanadium
	(tonnes)	
1975	435	341
1976	394	308
1977	412	329
1978	499	396

Source: Statistique Canada

Selon certaines sources d'information, 499 tonnes de ferrovanadium auraient été consommées en 1978; les cinq sociétés suivantes auraient assumé 94 % de cette consommation: The Steel Company of Canada, Limited (Stelco); la Algoma Steel Corporation, Limited; la Atlas Steels, division de la Rio Algom Limitée; la Sydney Steel Corporation; et la Colt Industries (Canada) Ltd. Parmi les autres sociétés utilisant du ferrovanadium remarquons: la Burlington Steel, division de la Slater Steel Industries Limited; Dominion Foundries and Steel, Limited (Dofasco); la Sidbec-Dosco Limitée; et la Manitoba Rolling Mills, division de la Compagnie Dominion Bridge Company, Limitée.

La figure 1 contient une extrapolation de la demande canadienne de vanadium contenu dans le ferrovanadium. En se fondant sur les données statistiques de 1964 à 1979[1] on croit qu'environ 600 tonnes (de 550 à 650 tonnes) de vanadium contenu dans du ferrovanadium seront consommées au Canada en 1985.

Quoique les données disponibles ne permettent pas d'effectuer la ventilation de la consommation de vanadium au Canada selon les utilisateurs, les principaux usages semblent être les suivants:

i) **Aciers à haute résistance et faiblement alliés**

La principale utilisation du vanadium au Canada est la fabrication d'acier à haute résistance et faiblement allié (HSLA) contenant moins de 0,2 % de vanadium. Les trois principaux fabricants d'acier au Canada utilisent un mélange colombium-vanadium pour la fabrication d'acier à haute résistance et faiblement allié en raison des limites énergétiques des usines.

Ce type d'acier est utilisé particulièrement dans les conduites de pipeline, les plaques et les profilés d'armature, pour la fabrication de pièces d'automobiles et de camions, et dans l'industrie aérospatiale.

ii) **Aciers à outils**

Les aciers à outils (de M1 à M7 avec de 1 à 6 % V, et T1 avec 1 % V) sont produits par la société Atlas Steel.

iii) **Aciers spéciaux**

La société Atlas utilise des quantités mineures de vanadium pour la production de plusieurs sortes d'aciers spéciaux (carbone, alliage électrique et acier à fleurets) qui contiennent environ 0,03 % V.

iv) **Aciers au carbone**

Le vanadium sert d'agent désoxydant dans la fabrication d'aciers au carbone, particulièrement ceux destinés à la fabrication de billettes au moyen de la coulée continue.

v) **Autres aciers**

La société Colt Industries utilise du vanadium pour produire de l'acier fini à chaud et des aciers auto-trempants et pour matrices qui servent à la fabrication de filière d'aluminium sous pression et d'autres filières servant à l'industrie automobile pour le courbage et le moulage de produits. La société Colt produit également des aciers au vanadium résistant aux chocs devant servir à une vaste gamme d'utilisations. La Sydney Steel Corporation produit un type d'acier au vanadium qui sert au façonnage d'essieux de wagons de chemin de fer.

---

[1]Cela n'implique pas des modifications aux modalités d'utilisation. Il est possible qu'au cours d'une période importante de construction de pipeline, la demande de vanadium augmente pour la fabrication d'acier de conduits de pipeline (à titre de substitut plus économique du molybdène) et que cela augmente peut-être son utilisation dans la fabrication d'acier pour les rails et l'industrie automobile.

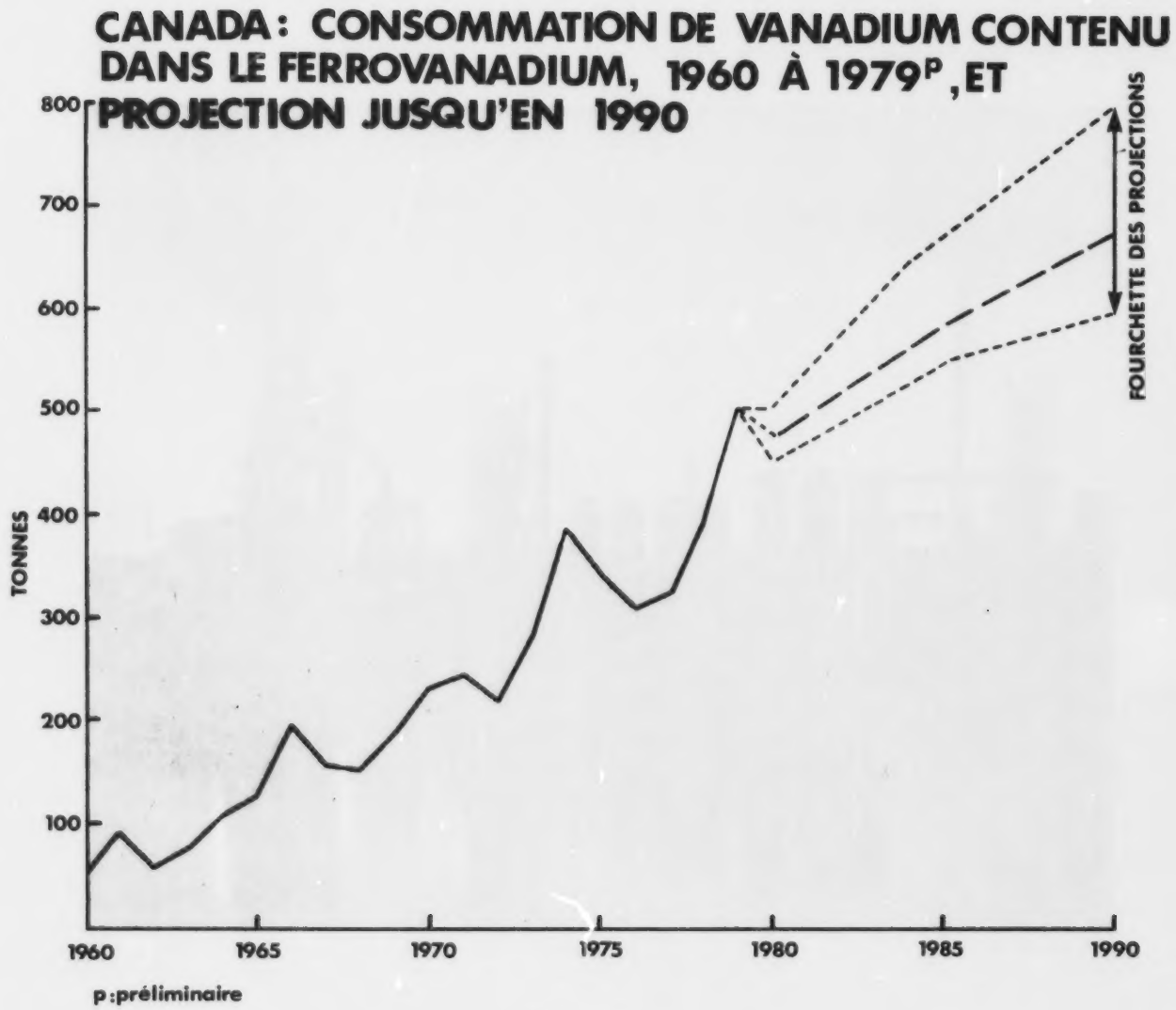
CANADA: CONSOMMATION DE VANADIUM CONTENU DANS LE FERROVANADIUM, 1960 À 1979P, ET PROJECTION JUSQU'EN 1990
TONNES
800
700
600
500
400
300
200
100
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
FOURCHETTE DES PROJECTIONS
p:préliminaire

FIGURE 1

Autres alliages-mères au vanadium

Aucun alliage-mère titanium-aluminium-vanadium n'est utilisé au Canada. Toutefois, ces alliages sont utilisés par l'industrie aérospatiale au Canada pour la fabrication de diverses composantes.

Produits chimiques à base de vanadium

Certains produits chimiques à base de vanadium servent de catalyseur d'oxydation dans la fabrication d'acide sulfurique et d'anhydride maléique.

La capacité de production d'acide sulfurique du Canada est d'environ 14 250 tonnes par jour. A titre de comparaison, une usine d'acide a besoin d'environ 127 kg de catalyseur (6 % V_2O_5) par tonne journalière de capacité. Le total des catalyseurs installés est d'environ 1 800 tonnes contenant 108 tonnes d'équivalents de pentoxyde de vanadium. Le remplacement des catalyseurs pour compenser les pertes lors du tamisage et les pertes d'activité s'élèvent en moyenne à 8 % par année, ce qui indique une demande anuelle de remplacement de 8,6 tonnes d'oxyde de vanadium.

Normalement les producteurs canadiens d'acide sulfurique ne conservent pas de stocks de catalyseur. Cela est dû surtout à ce que les lits de catalysation ne sont pas remplacés fréquemment et qu'il est facile de s'approvisionner auprès des producteurs ou des représentants de vente de fabricants de catalyseurs.

La société B A S F Canada Ltd. se sert de sa propre méthode de lit fixe et d'un catalyseur spécial pour produire l'anhydride phtalique au Canada. Nous possédons peu d'information sur ce catalyseur, mais on croit que sa vie est de très longue durée, il ne contient que 0,3 % de vanadium. La B A S F est également le seul producteur canadien d'anhydride maléique qui est obtenu comme sous-produit de la fabrication d'anhydride phtalique.

Aux États-Unis, un catalysateur à base de vanadium sert à la fabrication de caoutchouc éthylène-propylène-diène-monomérique (EPDM). Ce type de caoutchouc n'est pas fabriqué au Canada.

Dans l'industrie chimique au Canada, le vanadium peut également servir dans la coloration des verres et des céramiques, dans les siccatifs, dans les peintures et les vernis et dans le traitement des films couleurs. Aussi peu que 0,02 % de vanadium est ajouté au verre à fenêtres pour empêcher le passage nocifs de rayons ultra-violets. Les encres à séchage rapide tirent cette propriété d'un additif, soit le métavanadate d'ammonium.

Sommaire, partie II

La Masterloy Products Limited d'Ottawa utilise du pentoxyde de vanadium importé pour la fabrication de ferrovanadium. L'industrie sidérurgique canadienne utilise du ferrovanadium canadien et importé et des alliages-mères carbone et fer pour fabriquer des aciers au vanadium.

Des lingots de vanadium-titanium-aluminium importés sont laminés au Canada pour être réexportés et à l'intention des fabricants canadiens. Des pièces au vanadium sont importées par l'industrie aérospatiale.

Les catalyseurs à base de vanadium sont importés pour la fabrication d'acide sulfurique et d'acide maléique.

PARTIE III. SOURCES DE SOUS-PRODUITS DU VANADIUM AU CANADA

A. A l'intérieur

Concentrés vanadifères

Le Canada ne produit aucun concentré vanadifère en ce moment.

Pentoxyde de vanadium

Le Canada ne produit pas de pentoxyde de vanadium en ce moment, que ce soit à partir de matières premières intérieures ou importées.

Ferrovanadium

Environ la moitié du ferrovanadium utilisé au Canada est produit par la Masterloy Products Limited d'Ottawa qui fabrique du ferrovanadium (80 % V, 0,03 % V, 18 % Fe) à partir de pentoxyde de vanadium importé. La capacité de l'usine est de près de 1 400 tonnes de plusieurs types de ferroalliages par année. Au cours des dernières années, la Masterloy a produit environ 400 tonnes de ferrovanadium par année. Théoriquement, la Masterloy est en mesure de répondre à tous les besoins de ferrovanadium du Canada. Toutefois, un certain nombre d'aciéries consomment du vanadium seulement sous forme de "Carvan" produit par la société Union Carbide Corporation des États-Unis.

Autres alliages-mères au vanadium

Le Canada ne produit aucun alliage-mère au vanadium-aluminium ou alliage de vanadium-titanium-aluminium.

Produits chimiques à base de vanadium

Le Canada ne produit aucun produit chimique à base de vanadium.

B. A l'étranger

Le tableau 3 illustre les sous-produits de vanadium qui seraient actuellement importés au Canada.

Concentrés vanadifères

Aucun concentré vanadifère est importé en ce moment au Canada.

Tableau 3

Canada: commerce du vanadium à l'échelle internationale

Importations		1976		1977		1978		1979	
		(tonnes)	$	(tonnes)	$	(tonnes)	$	(tonnes)	$
Oxyde de vanadium									
de:	États-Unis[1]	73	464 000	65	673 000	415	2 610 000	-	-
	Autres	166	368 000	49	256 000	-	-	-	-
	Total	239	832 000	114	929 000	415	2 610 000	-	-
Ferrovanadium[2]									
de:	États-Unis[1]	105	884 000	138	1 185 000	119	1 155 000	352	3 699 000
	Afrique du Sud	-	-	-	-	32[3]	462 000	-	-
	Total	105	884 000	138	1 185 000	151	1 617 000	352	3 699 000
Autres alliages de vanadium									
de:	États-Unis[1]	20	-	"C"		"C"		-	-
	Autres	4	-					-	-
	Total	24	-	"C"		"C"		-	-

Source: Statistique Canada. [1]Données canadiennes: Les différences considérables existent entre les données commerciales du Canada et celles des États-Unis. [2]Poids net. [3]Semble se rapporter à divers types de ferrovanadium.
"C": confidentiel -: non disponible

Remarque: Les exportations de vanadium sont regroupées avec une variété d'autres produits métalliques.

Pentoxyde de vanadium

Les flocons de pentoxyde de vanadium importés qu'utilise en ce moment la Masterloy Products Limited d'Ottawa pour fabriquer du ferrovanadium sont achetés par l'entremise de sa société mère, l'International Minerals & Chemical Corporation de New York. Par le passé de petites quantités de charges d'alimentation étaient achetées de la Finlande et d'une gamme de commerçants de métal; au cours des dernières années cependant, quelque 80 % de celles-ci proviennent d'Afrique du Sud, tandis que 20 % proviennent des États-Unis. Les arrivages d'Afrique du Sud débarquent généralement au port de Montréal. Les stocks correspondent habituellement à la quantité consommées en six semaines.

Ferrovanadium

Les importations comptent pour environ la moitié du ferrovanadium consommé au Canada. Les fournisseurs des États-Unis, surtout la Union Carbide Corporation, sont les sources principales d'approvisionnement. De plus petites quantités sont importées directement d'Afrique du Sud ou sont achetées de commerçants internationaux. Par le passé, de grandes quantités de ferrovanadium étaient importées de l'URSS.

Les aciéries canadiennes qui importent du ferrovanadium ne stockent pas généralement de grandes quantités. En moyenne, elles conservent des approvisionnements d'un mois; par contre, certaines sociétés n'en stockent pas du tout et n'en achètent qu'au besoin. Fondamentalement, il y a deux raisons valables pour conserver les stocks de ferrovanadium au minimum: le financement en est très dispendieux et il est facile de s'en procurer auprès des producteurs. Les aciéries ne prévoient pas de difficulté d'approvisionnement.

La société Algoma Steel, l'un des plus importants consommateurs de vanadium au pays, achète le produit "Carvan", directement d'entrepôts appartenant à la Union Carbide, société américaine, située à proximité de l'usine de l'Algoma Steel. Toutefois, certains aciers au vanadium sont également importés.

Autres alliages-mères au vanadium

La Atlas Steel (Welland) importe des États-Unis des lingots de vanadium-titanium-aluminium de seconde fusion et effectue le laminage pour les fabricants canadiens et pour la réexportation aux États-Unis.

Les alliages de titanium-vanadium utilisés par l'industrie aérospatiale canadienne sont importés semble-t-il surtout des États-Unis, quoique les fabricants fassent état de fournisseurs actuels ou éventuels en France, en Allemagne de l'Ouest et au Royaume-Uni.

On importe également des pièces d'avion au vanadium. Certains fabricants de matériel aérospatial détiennent des contrats à long terme avec des fournisseurs.

En autant que nous pouvons l'établir, les fabricants de matériel aérospatial du Canada ne conservent pas d'importants stocks d'alliages, de profilés ou de pièces. Cela semble dû au coût élevé de transport et à l'existence de liens étroits ou contractuels avec leurs fournisseurs.

Produits chimiques à base de vanadium

Les produits chimiques à base de vanadium ne sont pas fabriqués au Canada et doivent tous être importés, surtout des États-Unis, mais aussi d'Europe. Les principaux fournisseurs de catalysateurs au vanadium comprennent la Monsanto Company, la Haldor Topsøe A/S du Danemark (une filiale de la Ente Nazionale Idrocarburi (E.N.I.) d'Italie), la I.S.C. Chemicals Limited (filiale de la Rio Tinto-Zinc Corporation Limited) d'Angleterre et la Elkem-Spigerverket A/S, de Norvège, fabricant qui exploite également une filiale en Norvège qui produit du pentoxyde de vanadium.

C. Capacité d'approvisionnements à l'échelle mondiale

Concentrés vanadifères

i) Réserves mondiales

Les réserves mondiales de vanadium telles qu'elles se situaient au milieu des années 1970, sont illustrées au tableau 4. Ces chiffres représentent sans doute du matériel exploitable raisonnablement bien connu. Les principales réserves sont en Afrique du Sud et en URSS. Les États-Unis ne représentent actuellement qu'environ 1 % des réserves mondiales.

Tableau 4

Réserves mondiales: équivalent estimatif de pentoxyde de vanadium

	(équivalent de V_2O_5 contenu)	
	(tonnes)	(%)
Australie	242 900	1.4
Chili	242 900	1.4
Finlande	89 000	0.5
Inde	161 900	0.9
Norvège	32 400	0.2
Afrique du Sud	3 239 000	18.7
États-Unis	186 200	1.1
URSS	12 955 900	74.8
Venezuela	161 900	0.9
Total mondial (arrondi)	17 328 500	100.0

Source des données: Selon le United States Bureau of Mines, "Vanadium-1977", **Mineral Commodity Profile MCP-8**, p.5.

ii) Production mondiale au cours des récentes années

La figure 2 illustre les principaux producteurs de vanadium contenu dans les minerais et les concentrés. Le tableau 5 donne plus de détails sur la production des dernières années.

D'importants changements se sont produits depuis le début des années 60 relativement à la place qu'occupent les pays producteurs de vanadium. Au fil du temps, le pourcentage de la production mondiale assumé par l'Afrique du Sud et la Namibie est passé d'environ 21 % à 42 % tandis que celui des États-Unis est passé de 69 % à 18 %. Depuis 1969, la Finlande est devenue un producteur important, ayant assumé environ 6 % de la production mondiale en 1977. En 1979, la production de la Finlande a augmenté en raison de l'augmentation de la capacité de production de la mine Mustavaara[1].

iii) Capacité actuelle d'approvisionnement des pays de l'Ouest en pentoxyde de vanadium

On estime présentement la production de pentoxyde de vanadium des pays de l'Ouest comme étant 49 895 tonnes par année (voir tableau 6).

En 1979, "on estime que les expéditions totales provenant des sources de production des pays de l'Ouest ont été d'environ 82 % de la capacité de production existante de V_2O_5 de ces pays[2] soit environ 47 890 tonnes d'équivalents de V_2O_5.

En 1979, "l'utilisation de vanadium dans les pays de l'Ouest ... s'est élevée à ... (36 287 tonnes) d'oxyde de vanadium (V_2O_5)"[3], c'est-à-dire, environ 76 % de la capacité de production des pays de l'Ouest pour cette année-là. De plus, quelque 1 800 tonnes d'équivalents de V_2O_5 ont été exportées aux pays de l'Est.

iv) Accroissements prévus de capacité d'approvisionnement mondial

Malgré la sous-utilisation de la capacité[4] on s'attend à ce que la capacité de production actuelle et planifiée des pays de l'Ouest augmente à 61 689 tonnes de pentoxyde de vanadium par année (voir tableau 6). Le tableau 7 contient une liste des nouveaux producteurs éventuels.

---

[1]Voir l'ouvrage de E. Hukkanen et de T.L. Lindholm, "Mustavaara Mine Doubles Finn's Vanadium Production", **World Mining,** juillet 1979, p. 46 à 49. [2]R.R. Gottschalk, "Vanadium", **Engineering and Mining Journal,** mars 1980, p. 107. [3]R.R. Gottschalk, "Vanadium", **Engineering and Mining Journal,** mars 1980, p. 104. [4]Par exemple au cours de l'été de 1980, deux des plus importants producteurs de pentoxyde de vanadium au monde, la Highveld Steel and Vanadium Corporation Limited d'Afrique du Sud et la Union Carbide Corporation ayant des exploitations aux États-Unis et en Afrique du Sud, ont annoncé des réductions de production, passant de 17 700 tonnes par année à 8 000 tonnes par année et de 5 000 tonnes par année à 2 300 et 2 700 tonnes par année, respectivement. Voir "V_2O_5 Production Cut Half by Falling Demand", **The Tex Report,** vol 12, n° 2,815, 2 septembre, 1980, p. 15.

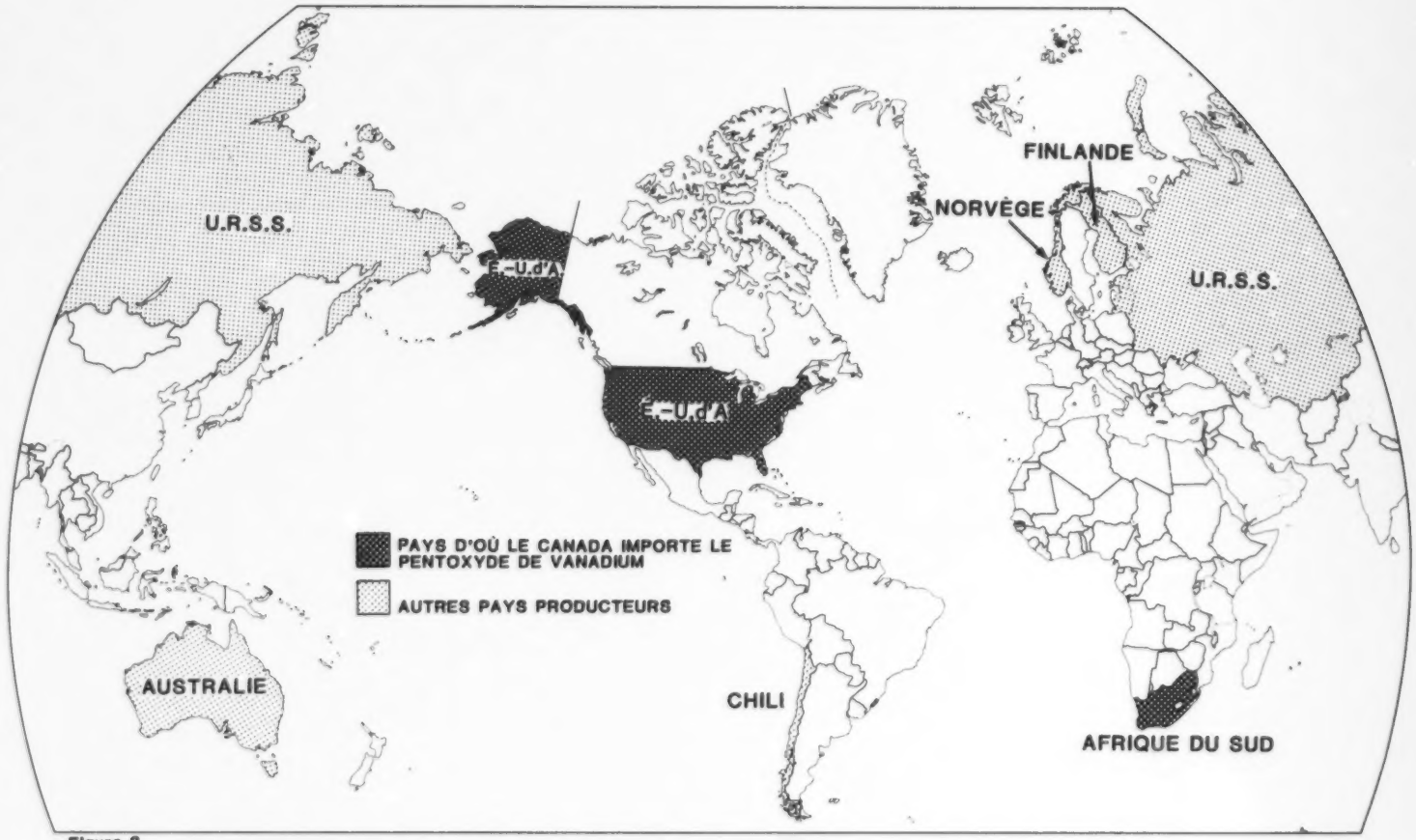

Figure 2

PRINCIPAUX PRODUCTEURS DE VANADIUM (CONTENU DANS LES MINERAIS ET CONCENTRÉS),1980

Tableau 5

Production mondiale estimative d'équivalent de pentoxyde de vanadium à partir de minerais et de concentrés, par pays, pour les années sélectionnées, 1960 à 1979

	1960	1970	1977P	1978	1979e
	(tonnes d'équivalent de pentoxyde de vanadium)				
Chili	-	988e[1]	1 539e[1]	1 231	1 215
Finlande	1 012	2 348[2]	3 328[2]	- [3]	- [3]
Namibie	1 357[4]	1 069e[5]	1 328e[5][6]	0	0
Norvège	-	1 927e	972e	- [3]	- [3]
Afrique du Sud	1 062[7]	12 089e[7]	20 062e[7]	20 082	24 535
États-Unis	8 050[4]	8 614[4]	10 533[4]	8 429[8]	10 203[8]
URSS	-	5 469[9]	16 195e	16 195e	16 195e
Autres pays	236	162e	-	6 546	5 911
Total	11 719e	32 667	53 956	52 482	58 059

Sources des données: United States Bureau of Mines, **"Minerals Yearbook"**. vol. I: 1964, p. 1147; 1972, p. 1292; et 1977, p. 985; U.S. Department of the Interior, **"Mineral Commodity Summaries"**: 1979, p. 177; et 1980, p. 179.
[1]Fondées sur les importations de scories vanadifères des États-Unis. [2]Vanadium contenu dans des produits contenant du pentoxyde de vanadium. [3]Compris dans la rubrique "autres pays". [4]Vanadium récupérable. [5]Dans des concentrés de plomb-vanadate. [6]Représente la production de la South West Africa Co. Ltd. pour l'année se terminant le 30 juin 1977. [7]La République d'Afrique du Sud rapporte officiellement la production totale de vanadium non distribué en pentoxyde et en vanadate de même qu'en scories vanadifères. Les données sur le contenu de vanadium des scories de vanadium sont calculées en se fondant sur le tonnage rapporté des scories vanadifères (poids brut) multiplié par une teneur présumée de 14 % de vanadium. Le contenu de vanadium du pentoxyde et des vanadates représente la différence entre le total rapporté et la prévision de vanadium contenue dans les scories. [8]Selon la récupération. [9]Dans les exportations de scories.
e: estimatif P: préliminaire -: non disponible

Tableau 6

Capacité nominale de production de pentoxyde de vanadium des pays de l'Ouest

Région	Capacité actuelle (1980)		Capacité actuelle plus capacité prévue	
	tonnes/année V_2O_5	%	tonnes/année V_2O_5	%
Afrique du Sud	25 401	50,9	28 123	45,6
Amérique du Nord	16 329	32,7	22 680	36,8
Europe	5 897	11,8	5 897	9,5
Autres	2 268	4,6	4 989	8,1
Total	49 895	100,0	61 689	100,0

Source de données: Highveld Steel and Vanadium Corporation Limited, selon le Rapport annuel pour 1980, de la société à la page 9.

Tableau 7

Accroissements prévus de la capacité mondiale de production de vanadium

Société	Endroit	Observations
Bank Handlowy Warszawa, (banque d'état) Pologne	Krzemionka, près de Suwalki, en Pologne	$430 millions financé par l'Allemagne de l'Ouest. La Metallgesellschaft A.G. recevra du vanadium et de l'ilménite lorsqu'ils seront extraits, capacité annuelle prévue de 12 500 à 15 000 tonnes de V_2O_5 à la fin des années 80.
Industrial Promotion and Investment Corporation of Orissa Ltd. (Ipicol)	Orissa, Inde	Sous-produit de la fabrication de fonte en gueuses; 435 tonnes de ferrovanadium par année; en 1983.
Pioneer Uravan, Inc.	Slick Rock, (Colorado)	Sous-produit de l'extraction d'uranium de 1 361 à 1 814 tonnes de V_2O_5 par année, 1982.
Western Mining Corporation Limited	Yeelirrie, Australie Occidentale	Sous-produit de l'extraction d'uranium. 998 tonnes de V_2O_5 par année, 1984.

Sources des données: R.R. Gottschalk, "Vanadium", **Engineering and Mining Journal**, mars 1979, p. 137, et mars, 1980, p. 107-108; United States Bureau of Mines "Vanadium in November 1979" **Mineral Industry Surveys: Vanadium (Monthly)**, p. 1.

La récupération du pétrole brut classique à partir des sables bitumineux au Venezuela et des escarbilles vanadifères de Suède constitue une autre source possible de production à l'extérieur du Canada. On rapporte "qu'une zone minéralisée contenant 91 millions de tonnes de matériaux titanifères et vanadifères ... dans la région de Campo Alegre de Lourdes entre les états de Bahia et de Piaui" au Brésil, contiendrait, semble-t-il, 0,7 % de V_2O_5 et "on s'attend qu'environ [454] millions de [tonnes] de minerai y soient [peut-être] délimitées"[1].

Une société australienne, la Ferrovanadium Corporation, songe à produire environ 10 000 tonnes de pentoxyde de vanadium par année à partir d'un gisement de fer-titane-vanadium, situé à Barrambie, 500 kilomètres au nord de Perth en Australie Occidentale[2].

Ferrovanadium

Le tableau 8 énumère les principales usines de production de ferrovanadium qui sont situées à l'extérieur de l'URSS. Le rôle de plus en plus important joué par la République d'Afrique du Sud à titre de producteur de ferrovanadium constitue un facteur important dans la situation mondiale du ferrovanadium.

Autres alliages-mères au vanadium

D'autres alliages-mères au vanadium sont produits aux États-Unis et dans l'Europe de l'Ouest. Aux États-Unis, les fabricants seraient la Reactive Metals and Alloys Corporation, la Reading Alloys, Inc., la Shieldalloy Corporation et la TIMET Division of Titanium Metals Corporation of America.

Produits chimiques à base de vanadium

Les États-Unis, le Danemark, le Royaume-Uni, l'Allemagne de l'Ouest et le Japon produisent des catalysateurs au vanadium. Les deux plus importants fabricants sont la société Monsanto Company dont les usines se trouvent aux États-Unis et la Haldor Topsøe A/S du Danemark. On considère que la production du Japon est faible en comparaison de celle des autres pays.

---

[1]"Vanadium in August 1979", United States Bureau of Mines, **Mineral Industry Surveys: Vanadium (mensuel)** p. 1. [2]Voir l'article de J. McIlwraith, "West Australian Vanadium Launch by Agnew Clough", **The Mining and Oil Review,** 26 juin, 1980.

Tableau 8

Ferrovanadium[1]: principales usines, de production[2,3] à travers le monde

Afrique du Sud	Highveld Steel and Vanadium Corporation Limited, Highveld, (groupe Newmont Mining Corporation). Thermometallurgical Corp. (Pty) Ltd., Johannesburg. Ucar Minerals Corporation, (groupe Union Carbide Corporation).
Allemagne de l'Ouest	August-Thyssen-Hütte A.G., Duisburg. Badische Wolframerz G.m.b.H., Düsseldorf. Gesellschaft für Elektrometallurgie m.b.H., Düsseldorf. Metallhütte Mark K.G. Hamburg. Otavi Minen-und Eisenbahn-Gesellschaft, Frankfurt am Main, (groupe Norddeutsche Affinerie). Rochling'sche Eisen-und Stahlwerke G.m.b.H., Volklingen.
Autriche	Treibacher Chemische Werke A.G., Treibach.
Belgique	SADACEM S.A.-Applications de la Chimie, de l'Électricité et des Métaux, Langerbrugge.
Brésil	Electrometalur SA. Prometal Produtos Metalúrgicos S.A., Sao Paulo. Termoligas Metalúrgicas S.A., Salvador, Bahia.
Canada	Masterloy Products Limited, Ottawa, (groupe International Minerals & Chemical Corporation).
Espagne	Ferroaleaciones Asturianas, Avilés.
États-Unis	Engelhard Minerals & Chemicals Corporation, Strasburg (Virginie). Foote Mineral Company, Exton (Pennsylvanie). Reading Alloys, Inc., Robesonia (Pennsylvanie). Shieldalloy Corp., Newfield (New Jersey). (groupe Metallurg, Inc.). Union Carbide Corporation, ville de New York (New York).
France	Société Française d'Electrométallurgie S.A. SOFREM, (groupe Pechiney).
Hongrie	Otvözetgyar, Salgótarján.
Inde	Electric Control Gear Private Ltd., Ahmedabad.
Italie	Societa per Az. Leghe e Metalli (S.A.L.E.M.), Genoa, (groupe AMAX).
Japon	Awamura Metal Industry Co., Ltd., Uji. Japan Metals & Chemicals Co. Ltd., Oguni. Nippon Denko KK, Hokuriko. Taiyo Mining & Industrial Co., Akawo.
Luxembourg	Continental Alloys S.A., Luxembourg, (groupe International Minerals & Chemical Corporation).

Tableau 8. (suite)

Mexique	Ferroaleaciones de Mexico, S.A., Mexico.
Norvège	Bremanger Smelteverk, Svelgen, (Elkem-Spigerverket A/S).
Pays-Bas	Maxalloys B.V., (groupe Treibacher).
Royaume-Uni	Ferro Alloys & Metals Ltd., Glossop, (groupe Neepsend). High Speed Steel Alloys Ltd., Widnes, (groupe British Oxygen Ltd.). London & Scandinavian Metallurgical Co. Limited, London, (groupe Metallurg, Inc.). Minworth Metals Ltd., Stowmarket, (groupe AMAX). Murex Limited, Rainham, (groupe British Oxygen Ltd.).
Suède	A.B. Ferrolegeringar, (groupe Metallurg, Inc.). Kema-Nord A/S, Stockholm.

Sources: Fondées sur "World Ferro-Alloy Producers Directory, parties 1 et 2", dans "Ferro-Alloys: A Special Issue", Metal Bulletin Ltd., Londres, 1971, p. 130 à 195; United States Bureau of Mines, "Vanadium-1977", **Mineral Commodity Profile MCP-8**, p. 2; et (pour le Japon) "1979 **Ferro Alloy Manual**", The TEX Report Co., Ltd., Tokyo, Japon, p. 187. [1]Comprend les autres alliages de vanadium au carbone et au fer. [2]Les capacités de production des usines ne sont pas disponibles. Il est possible qu'une variété d'alliages de fer soit produite par une usine en particulier. [3]Sauf pour la Hongrie, ne comprend pas les installations des économies non marchandes.

D. Révision pays par pays

États-Unis

Le tableau 9 dresse un résumé de l'industrie du vanadium aux États-Unis. En 1979, les États-Unis estiment avoir assumé environ 18 % de la production mondiale de vanadium sous ses diverses formes de base. Au cours de cette année-là, les principaux producteurs d'oxyde de vanadium des États-Unis étaient : la Atlas Corporation, la Kerr-McGee Corporation et la Union Carbide Corporation. L'usine de la Foote Mineral Company, à Cambridge (Ohio) utilise des scories contenant de l'oxyde de vanadium importés d'Afrique du Sud pour la fabrication de ferro-alliages.

Une partie des besoins de consommation et d'exportation des États-Unis est comblée par les importations. En 1979, "la dépendance nette des États-Unis vis-à-vis des importations" correspondait à 25 % de sa consommation apparente.[1] De 1975 à 1978, les sources d'importation des États-Unis étaient les suivantes: République d'Afrique du Sud, 57 %; le Chili, 25 %; l'URSS, 6 % et les autres pays 12 %.

[1]U.S. Bureau of Mines, **"Mineral commodity Summaries 1980"**, p. 178.

Tableau 9

Industrie du vanadium aux États-Unis

Nom	Mines	Usine de traitement primaire	Usine de traitement intermédiaire
1. Atlas Corporation	Colorado Plateau (U-V)	Moab (Utah) (U-V)	-
2. Cotter Corporation (Commonwealth Edison Company of Chicago)	Colorado Plateau (U-V)	Canon City (Colo.) (U-V)	-
3. Foote Mineral Company (Newmont Mining Corporation)	-	-	Cambridge (Ohio ferro-alliage V.) utilise des scories d'oxyde achetée et importées de la Highveld Steel and Vanadium Corporation Limited. Afrique du Sud et peut-être au Chili et en URSS.
4. Gulf Chemical and Metallurgical Co.	-	Texas City (Texas)[1]	-
5. Kerr-McGee Corporation	-	Soda Springs (Idaho) (à partir de ferro-phosphore)	-
6. Long Island Lighting Company (LILCO)	-	État de New York (résidus du pétrole)	-
7. Philipp Brothers Division (Engelhard Minerals & Chemicals Corporation)	-	-	Strasburg (Va.) (Ferrovanadium)
8. Ranchers Exploration and Development Corporation, Durita Plant	Colorado Plateau (U-V)	Naturita (Colo.); lixiviation en tas des résidus (U-V). Les liquides vanadifères sont expédiés à l'usine de la Union Carbide à Rifle pour être convertis en oxyde de vanadium.	-

Tableau 9. (suite)

Nom	Mines	Usine de traitement primaire	Usine de traitement intermédiaire
9. Reading Alloys, Inc.	-	-	Robesonia (Pa.) (Ferrovanadium)
10. Shieldalloy Corporation (Metallurg, Inc.)	-	-	Newfield (N.J.) (Ferrovanadium)
11. Somex Ltd. (Engelhard Minerals & Chemicals Corporation)	-	Bartlesville (Ohio) (récupération d'oxyde de vanadium à partir de cendres de pétrole brut provenant des Caraïbes, brulées dans les chaudières d'utilité publique des États-Unis et d'Europe de l'Ouest).	
12. Union Carbide Corporation	Colorado Plateau (U-V) Wilson Springs, Arkansas (minerai de vanadium)	Rifle Goth et Utavan (Colo.) (U-V) Hot Springs[3] (Arkansas) (expédiés à l'usine de Marietta)	Marietta (Ohio)[2] Alloy (W. Va.)

Sources des données: United States Bureau of Mines "Vanadium - 1977" **Mineral Commodity Profile MCP-8,** pp. 2-3. United States Bureau of Mines "Vanadium" in **Mineral Commodity Summaries 1979,** pp. 176-177. United States Bureau of Mines "Vanadium in 1979", **Mineral Industry Surveys: Vanadium,** p. 1. [1]En 1979 oxyde de vanadium récupéré uniquement de matériaux importés. [2]En 1980 l'usine de la Union Carbide Corporation à Marietta a été vendue à la Elkem-Spiegerverket A/S et la Union Carbide conserve les droits de propriété du "Carvan". Aucune disposition n'a encore été prise quant à la future production de "Carvan". [3]Selon un rapport publié dans le numéro du **American Metal Market** du 29 octobre 1980, la production à l'usine de pentoxyde de vanadium de Hot Springs s'est arrêtée en août 1980.
-: néant

Jusqu'en 1975, les stocks de réserves du United States General Services Administration (GSA) fournissaient régulièrement le marché en utilisant des matériaux déjà achetés. A partir du 30 septembre 1979, alors que l'objectif des stocks de réserves était de 9 158 tonnes de vanadium contenu dans le ferrovanadium et de 2 337 tonnes de vanadium contenu dans le pentoxyde de vanadium, les réserves ne contenaient que 491 tonnes de vanadium contenu dans du pentoxyde de vanadium. On a recommandé qu'un alliage 65V-35Al soit ajouté comme composant des stocks de réserves mais aucune mesure n'a été prise jusqu'à maintenant.

Les États-Unis constituent également un important exportateur de substances au vanadium. En 1978 et 1979, les principales destinations des exportations américaines par substances étaient les suivantes: **minerais de vanadium,** Canada (49 %), Japon (29 %), Mexique (12 %); **pentoxyde de vanadium (anhydride),** à divers pays notamment à l'Allemagne de l'Ouest, au Japon, au Mexique et à l'Autriche et de petites quantités seulement au Canada; **ferrovanadium:** Japon (50 %), Canada (24 %) et l'Allemagne de l'Ouest (6 %).

République d'Afrique du Sud

Bien que l'Afrique du Sud ne possède qu'environ 19 % des réserves mondiales de vanadium, il est estimé qu'elle a assumé quelque 42 % de la production mondiale de vanadium en 1979. En 1979, les principaux producteurs de matières premières de vanadium en Afrique du Sud ont été la Highveld Steel and Vanadium Corporation et la Ucar Minerals Corporation, une filiale de la Union Carbide Corporation des États-Unis.

La Highveld Steel and Vanadium produit des scories vanadifères comme produit associé de l'élaboration de l'acier à Witbank et du pentoxyde de vanadium à la Division Vantra à Ferrobank directement à partir du minerai extrait de sa mine de Mapochs située près du village de Roosenekal dans le district de Middelburg au Transvaal. La Ucar Minerals exploite un complexe mine-concentrateur et des affineries à Brits et à Bon Accord[1] au Transvaal.

Une troisième société, la Transvaal Alloys (Pty.) Limited exploite une usine de vanadium à Wapadskloof à 65 kilomètres au nord-est de Middelburg[2] et utilise des matières premières provenant d'un gisement de magnétite titanifère situé près de Uitvlugt au Transvaal.

Jusqu'en 1978, la South West Africa Company Limited récupérait du vanadium de sa mine de plomb-zinc-vanadium Berg Aukus en Namibie, dont les concentrés titraient 18 % de V_2O_5.

Les scories vanadifères de la société Highveld sont transformées au moyen d'une méthode directe de réduction en "Ferovan" à l'usine de la Foote Mineral Company située à Cambridge (Ohio). Les scories sont également converties en pentoxyde de vanadium fondue et plus tard en ferrovanadium à l'usine de la Treibacher Chemicals Werke à Treibach, en Autriche.

---

[1]Selon un rapport publié dans l'édition du 29 octobre 1980 de **American Metal Market,** la production de l'usine de pentoxyde de vanadium de Bon Accord a été suspendue en août 1980. [2]United States Bureau of Mines, "Vanadium in 1976", **Mineral Industry Surveys: Vanadium,** p. 2.

Australie

La première mine de vanadium en Australie, la mine Agnew Clough, située à Coates Siding près de Perth (Australie de l'Ouest) a démarré à l'été de 1980[1].

On s'attend à ce que la production initiale soit de l'ordre de 1 600 à 1 800 tonnes de pentoxyde de vanadium par année. Une société japonaise, la Nissho Iwai Company Limited qui a participé au financement du projet achètera entre 500 et 800 tonnes de pentoxyde de vanadium. Le reste de la production sera expédié à l'usine de la Metallhütte Mark K.G. à Hambourg en Allemagne de l'Ouest. La société a engagé la capacité totale de son usine actuelle pour les sept prochaines années[2]. On s'attend à ce que la décision de construire une autre usine qui produirait plus du double de la production soit prise d'ici un an.

URSS

Selon les chiffres donnés, l'URSS possède sur ses territoires la majeure partie des réserves mondiales de vanadium (74,8 %) et assume la production estimative mondiale la plus importante (28 % en 1979).

Il est estimé que l'URSS produit environ 9 000 tonnes d'équivalent de vanadium par année sous forme de scories vanadifères obtenu comme sous-produit de la fonte de la magnétite titanifère provenant de la mine à ciel ouvert Kachkanar située dans les Monts Ourals et de Lisakovsk dans le Kazakhstan. En 1977, on rapporte que l'URSS prévoyait l'installation d'usines de récupération du vanadium à plusieurs usines d'alumine afin de produire du pentoxyde de vanadium à partir des résidus de bauxite.

Autres pays

Parmi les autres pays possédant une industrie établie de vanadium se trouvent le Chili, la Finlande et la Norvège qui possèdent 1,4 %, 0,5 % et 0,2 % respectivement des réserves mondiales (et qui assument 2,9 %, 6,2 % et 1,8 % de la production mondiale en 1977).

Au Chili, le producteur de matières premières du vanadium est l'usine de Huachipato de la Compania de Acero del Pacifico qui produit des scories vanadifères pour l'exportation. En Finlande, les matières premières vanadifères sont produites par la société Rautaruukki Oy, soit quelque 2 000 tonnes de V_2O_5 par année de la mine Otanmaki et environ 2 720 tonnes de V_2O_5 par année de la mine Mustavaara. En Norvège, la société productrice est la A/S Rødsand Gruber, une filiale de la Elkem-Spigerverket.

Au Japon, la société "Taiyo Mining and Industry de Kobe a installé un circuit de récupération d'environ [399 tonnes par année] de V_2O_5 à partir de catalyseurs à base de molybdène utilisés pour la désulfurisation des pétroles bruts lourds[3]". On rapporte qu'une usine pouvant produire des dizaines de milliers de tonnes de scories de vanadium par année à partir de minerais de magnétite vanadifère et titanifère est en opération à Panzihua province du Szechuan en Chine.

---

[1]J. MacIlwraith, "West Australian Launch by Agnew Clough", **The Mining and Oil Review,** juin 26, 1980. [2]"Agnew Clough Commits New Plant's Vanadium", **Metals Week,** avril 21, 1980, p. 6. [3]R.R. Gottschalk, "Vanadium", **Engineering and Mining Journal,** mars 1980, p. 107.

Sommaire, partie III

A l'exception du ferrovanadium qui est produit à partir de matières premières importées, le Canada, comme l'indique le tableau 10, dépend totalement d'importations pour la fabrication de ses sous-produits de vanadium. Les réserves de pentoxyde de vanadium correspondent habituellement à la consommation de six semaines tandis que celles de ferrovanadium dépassent bien rarement les besoins d'un mois.

Les principaux producteurs mondiaux de matières premières vanadifères sont la République d'Afrique du Sud, l'URSS et les États-Unis. La Norvège, la Finlande, le Chili et l'Australie en produisent des quantités beaucoup moins importantes.

La production étrangère de ferrovanadium est centrée principalement aux États-Unis, en Afrique du Sud et en Europe de l'Ouest. D'autres alliages au vanadium sont fabriqués aux États-Unis et en Europe de l'Ouest. Cette industrie se caractérise par des liens très bien établis entre les sociétés. Advenant aucune interruption, la capacité d'approvisionnement mondiale actuelle et prévue peut très bien suffire à répondre à la demande actuelle et prévue du Canada.

Tableau 10

Canada: sources de sous-produits du vanadium

	Intérieure	Étrangère
A. Concentrés vanadifères	néant	néant
B. Pentoxyde de vanadium	néant	80 % de l'Afrique du Sud 20 % des États-Unis
C. Ferrovanadium	La moitié de la quantité consommée provient de pentoxyde de vanadium importé	La moitié de la quantité consommée provient des États-Unis et l'Afrique du Sud
D. Autres alliages-mères au vanadium	néant	Importés des États-Unis (dont une certaine quantité est réexportée aux États-Unis)
E. Produits chimiques à base de vanadium	néant	Importés des États-Unis et d'Europe

PARTIE IV. AUTRES SOURCES POSSIBLES D'APPROVISIONNEMENT

Pentoxyde de vanadium

i) En provenance de producteurs étrangers actuels

Présentement, le Canada importe tout le pentoxyde de vanadium dont il a besoin pour produire du ferrovanadium. On rapporte que la plus grande partie du vanadium importé au Canada vient des États-Unis, mais on croit qu'une bonne partie des matériaux est originaire d'Afrique du Sud.

Selon un article paru dans le **Metal Bulletin Monthly**[1] les trois principaux districts miniers des États-Unis peuvent produire environ 12 250 tonnes de pentoxyde de vanadium par année. Au cours des quatre années allant de 1975 à 1978, les États-Unis ont produit en moyenne 8 700 tonnes de pentoxyde de vanadium par année à partir de matériaux du pays, ont retiré 400 tonnes par année des stocks de réserves et ont importé annuellement 6 100 tonnes de pentoxyde de vanadium environ sous différentes formes afin de répondre à la consommation moyenne annuelle apparente de 13 700 tonnes d'équivalents de pentoxyde et aux exportations de 1 500 tonnes de ces matériaux.

A la fin de 1979, les stocks[2] des producteurs et des consommateurs des États-Unis étaient équivalents à environ 4 mois et demi de consommation apparente. Le stock de réserves national ne contient que quelques semaines d'approvisionnement de pentoxyde de vanadium.

Si les États-Unis arrivaient à utiliser la pleine capacité de production de pentoxyde de vanadium, ils pourraient se permettre de réduire jusqu'à 50 % leurs sources d'importation (République d'Afrique du Sud, 57 %) avant d'avoir à réduire leurs exportations afin de ne pas interrompre les approvisionnements aux consommateurs du pays.

Dans le passé, la Finlande a approvisionné le Canada; dans l'avenir, l'Australie pourra constituer une source d'approvisionnement de rechange.

ii) En provenance de producteurs canadiens possibles

Entre 1971 et juin 1973, la Masterloy Products Limited (Ottawa) a produit du pentoxyde de vanadium à partir de résidus de fluorovanadate de sodium provenant du circuit de lixiviation de l'Aluminium du Canada, Limitée (Alcan), de cendres volantes de l'Hydro-Québec et de cendres volantes importées. La production de pentoxyde de vanadium de la Masterloy s'est arrêtée lorsque l'Alcan a remplacé le minerai de bauxite qu'il traitait à son usine d'Arvida par un minerai de plus faible teneur en vanadium et de ce fait, il n'était plus économique pour cette société de continuer à récupérer le fluorovanadate de sodium. C'est à peu près au même moment, que l'Hydro-Québec a cessé d'utiliser dans ses centrales le mazout à haute teneur en vanadium, provenant du Venezuela.

---

[1] "Vanadium": Future Supplies Assured". **Metal Bulletin Monthly**, n°. 108, décembre 1979, pages 43 à 47. [2] A la fin de mai 1980, le stock des consommateurs américains correspondait à lui seul à la consommation de ferrovanadium des États-Unis pendant un mois et demi, d'oxyde de vanadium et de métavanadate d'ammonium de six mois et d'alliages aluminium-vanadium et autres de près de deux mois.

De 1965 à 1971 la Petrofina Canada Inc. a produit du pentoxyde de vanadium (99 % de V_2O_5) comme sous-produit à sa raffinerie de Pointe-aux-Trembles près de Montréal au Québec. Les composantes plus légères du pétrole brut traité étaient retirées par distillation fractionnée qui laissait un combustible résiduel qui, par la suite, servait à fournir de la vapeur au procédé de distillation. Du pentoxyde de vanadium était extrait des cendres volantes (contenant 10,0 % + de V_2O_5) de la combustion du pétrole résiduel.

La Petrofina a cessé ses opérations lorsqu'elle a dû remplacer ses matières premières, soit du pétrole brut vénézuélien à haute teneur de vanadium (130 parties par million) par du brut du Moyen Orient. La capacité rapportée de l'usine était de l'ordre de 1 000 livres de pentoxyde de vanadium par jour.

Les deux sociétés mentionnées ci-dessus ont complètement démonté leurs installations de production.

Toutefois au Canada, le vanadium provient d'un grand nombre de ressources, particulièrement des magnétites titanifères, des sables pétrolifères et des minerais d'uranium[1].

MM. B.H. Lucas et G.M. Ritcey ont décrit une méthode de récupération de chrome, de vanadium et d'aluminium contenus dans le gisement de magnétite titanifère Mingan (907 millions de tonnes d'une teneur de 0,19 % V) et ils ont conclu que: "même s'il était possible de vendre tout le vanadium et tout le chrome, les revenus préliminaires et les estimations de coûts de l'enrichissement de la charge d'alimentation indiquent que la partie des travaux antérieurs à la production d'acier n'est pas économiquement rentable en ce moment"[2].

Des résultats métallurgiques prometteurs ont été obtenus lors d'essais effectués sur des matériaux provenant de la zone de l'est qui est la plus importante des trois zones de magnétite titanifère du lac Doré dans les cantons Lemoine et Rinfret à environ 70 kilomètres par route de Chibougamau (Québec). Selon des estimations, cette zone de l'est contiendrait environ 46 400 000 tonnes de substances d'une teneur de 0,53 % de V_2O_5[3]. Cette teneur correspond aux tiers environ de la teneur du minerai de magnétite titanifère duquel on extrait le vanadium en République d'Afrique du Sud. Quoique ce matériau puisse être concentré et qu'il ait un bon potentiel de récupération, le coût économique de l'exploitation et de l'extraction n'a pas encore été totalement déterminé.

Les travaux entrepris par le Centre de Recherches minérales du Québec[4] se poursuivent en collaboration avec la Société québécoise d'exploration minière (SOQUEM).

Il est peut-être possible de récupérer le vanadium associé au bitume des sables pétrolifères d'Alberta. Quoique le bitume lui même ne contienne que 0,02 (240 ppm) à 0,05 % de V_2O_5, les cendres volantes, ou les résidus obtenus suite à l'extraction du pétrole du bitume contiennent 3,3 à 4,5 % de V_2O_5. La Great

---

[1]E.R. Rose, "Geology of Vanadium and Vanadiferous Occurrences of Canada", **Commission géologique du Canada, Economic Geology Report N° 27,** 130 pages. [2]B.H. Lucas et G.M. Ritcey, **Bulletin ICM,** vol. 73, n° 821, septembre 1980; p. 131. An Alkaline Roast-Leach Process for Treatment of Titaniferous Magnetite for Recovery of Chromium, Vanadium & Aluminium par B.H. Lucas et G.M. Ritcey. [3]Voir rapport annuel de la SOQUEM, 1979-1980 p. 25. [4]Voir I, Malinsky, "État de recherche sur des traitements du minerai du Lac Doré", **Ministère de l'Énergie et des Ressources, Centre de Recherches minérales, Projet n° 840,** Sainte-Foy (Québec), le 4 mars 1980, 70 pages.

Canadian Oil Sands Division (GCOS) de la Suncor Inc. produit environ 100 tonnes de cendres volantes par jour. Cela constitue une ressource potentielle d'environ 800 tonnes de vanadium contenu chaque année. Toutefois pour des raisons minéralogiques, les cendres volantes ne se prêtent pas au traitement par la méthode métallurgico-hydraulique de la Petrofina. Le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources[1] a effectué des essais sur d'autres moyens de récupération du vanadium des cendres volantes. Il faudra faire d'autres recherches cependant afin d'en arriver à une technique d'extraction commercialement rentable.

Bien que les exploitants de sables pétrolifères (GCOS et la Syncrude Canada Ltd.) continuent à étudier l'aspect économique de la récupération du vanadium comme sous-produit, ils se préoccupent surtout d'améliorer leur production de pétrole synthétique. Par le passé, la GCOS stockait des réserves de cendres volantes vanadifères, mais lorsque le drainage des stocks de réserve est devenu un problème environnemental, on a mis fin au programme et maintenant toutes les cendres volantes sont retournées à la mine à ciel ouvert et servent de remplissage.

Les laboratoires de recherche sur l'énergie de CANMET sont à mettre au point une méthode prometteuse d'hydrocraquage du bitume, des pétroles lourds et des résidus de "distillation sous vide" des pétroles bruts. Cette méthode évite la cokéfaction et la combustion afin d'en extraire les cendres et les résidus ainsi obtenus contiennent une concentration relativement élevée de vanadium et de nickel. Il faudra accomplir d'autres travaux afin de déterminer à quel degré il est possible de récupérer ces métaux des résidus de "distillation sous vide" des raffineries de pétrole.

Au Canada on trouve aussi du vanadium en association avec le minerai d'uranium. La Eldorado Mining and Refining Limited a sérieusement songé à récupérer du vanadium en sous-produit (de son usine à Beaverlodge)... mais les valeurs vanadiques dans les niveaux inférieurs étaient très irrégulières, allant de 0,92 % au cinquième niveau à 0,07 % au dix-septième niveau et probablement une moyenne d'environ 0,09 % ou moins selon les dossiers géologiques de la société".[2]

Si la Petrofina devait une fois de plus importer du pétrole brut vanadifère du Venezuela de façon régulière et fiable, son usine de Montréal pourrait sans doute être reconstruite d'ici un à deux ans. S'il fallait cependant reprendre les travaux d'ingénierie, la construction prendrait probablement six mois de plus.

En ce qui a trait à la possibilité de produire du pentoxyde de vanadium à partir de magnétite titanifère ou des sables pétrolifères, compte tenu du temps nécessaire à l'élaboration des méthodes de la mise au point d'un prototype, des études de faisabilité du développement du projet, de l'aspect technique et de la construction, il faudrait probablement entre 5 et 8 ans avant la mise en production à partir d'une ou l'autre de ces sources.

L'annexe 4 énumère les études métallurgiques récentes sur le vanadium effectuées par le Centre canadien des technologies des minéraux et de l'énergie (CANMET).

---

[1]Stemerowicz, A., Bruce, R.W., Sirianni, G.V. et Viens, G.E., "The recovery of Vanadium and Nickel from Athabasca Tar Sands Fly Ash", **Bulletin ICM**, vol. 69, n° 768, avril 1976, p. 102-108. [2]Rose, E.R., **op. cit**, page 64.

Ferrovanadium

i) En provenance de producteurs étrangers actuels

Présentement, en plus de produire lui-même du ferrovanadium, le Canada en importe des États-Unis et de l'Afrique du Sud. Comme on peut le voir au tableau 8 (p 17) il serait possible d'entrer en rapports avec d'autres pays fabricants de ferrovanadium s'il n'était plus possible d'obtenir du ferrovanadium des fournisseurs intérieurs ou des États-Unis.

ii) En provenance d'autres producteurs intérieurs possibles

La Masterloy produit du ferrovanadium à partir de pentoxyde de vanadium importé. La capacité de son usine est de près de 1 400 tonnes de divers types de ferroalliages par année. Au cours des dernières années, toutefois, la Masterloy a produit environ 400 tonnes de ferrovanadium par année et les ventes se répartissaient à peu près également entre le Canada et les États-Unis. Étant donné que la Masterloy ne fonctionne qu'à 50 % de sa capacité, si cette société avait un approvisionnement adéquat de pentoxyde, elle serait en mesure de répondre à tous les besoins canadiens en ferrovanadium.

Cependant, point n'est besoin en ce moment d'exploiter de nouvelles installations de production de ferrovanadium au Canada.

Autres alliages-mères vanadifères

i) En provenance de producteurs étrangers actuels

La majeure partie des métaux d'armature au vanadium utilisés par les fabricants canadiens de matériel aérospatial est importé des États-Unis, quoique qu'on fasse mention de sources actuelles et potentielles provenant du Royaume-Uni, de l'Allemagne de l'Ouest et de la France. La source ultime d'approvisionnement est déterminée non seulement par les manufacturiers de matériel aérospatial, mais aussi par le client éventuel qui, de par la nature de ses spécifications, doit en effet exclure certaines sources étrangères.

ii) En provenance de producteurs intérieurs

L'Alcan ne fabrique pas d'alliages-mères au vanadium. Par contre, la société Atlas Steel, la seule société canadienne dotée d'installations capables de produire des profilés en alliage de titanium vanadifère n'en a pas produit.

Produits chimiques à base de vanadium

i) En provenance de producteurs étrangers actuels

Tous les catalyseurs actuellement utilisés au Canada sont importés des États-Unis, du Danemark, du Royaume-Uni ou de l'Allemagne de l'Ouest. A l'exception du Japon, il ne semble pas y avoir d'autres sources possibles de ces produits à l'étranger.

ii) En provenance de producteurs intérieurs possibles

L'industrie canadienne songe actuellement à la possibilité de fabriquer au Canada des catalyseurs au vanadium. On considère que le succès financier d'une telle entreprise dépend d'un accès facile aux marchés des États-Unis et de surmonter les répercussions des barrières tarifaires imposées par les États-Unis aux nouveaux venus sur le marché

Sommaire, partie IV

La République d'Afrique du Sud constitue le principal pays d'où provient la majeure partie de pentoxyde de vanadium utilisé au Canada. Étant donné que les États-Unis, qui constituent le principal autre fournisseur du Canada, obtient lui-même, environ 57 % de ses importations de pentoxyde de vanadium d'Afrique du Sud, l'arrêt total des approvisionnements en provenance de ce pays poserait des difficultés au Canada, bien que les États-Unis possèdent un surplus de capacité de production qu'ils n'utilisent pas.

Il serait impossible d'obtenir du pentoxyde de vanadium canadien de sources canadiennes intérieures pendant au moins deux ans. Quoique la capacité de production intérieure de ferrovanadium semble suffisante pour répondre à toute interruption des approvisionnements, certains problèmes se produiraient en raison de l'usage de certaines teneurs de ferrovanadium par les aciéries. Des interruptions à long terme des approvisionnements, principalement des États-Unis ne seraient pas susceptibles de se produire.

Il n'existe aucune autre source facile d'approvisionnement en alliages-mères vanadium-aluminium-titanium ou de catalyseurs au vanadium.

PARTIE V. MATÉRIAUX DE SUBSTITUTION

Ferrovanadium

De concert avec d'autres additifs, le vanadium sert à affiner la grosseur du grain dans les aciers à haute résistance et faiblement alliés, dans les aciers à outils et à matrices et dans d'autres aciers augmentant ainsi la limite de la résistance et de la dureté. On peut substituer au vanadium diverses proportions et mélanges de colombium, de molybdène, de titane, de tungstène, de chrome et de nickel afin d'obtenir les caractéristiques désirées.

Dans le cas des aciers à outils, par exemple, s'il était impossible de se procurer du vanadium, on pourrait utiliser dans la plupart des cas d'autres aciers à outils contenant peu ou pas de vanadium. Toutefois, si on faisait ces substitutions, il n'y a aucun doute qu'il serait nécessaire de modifier les techniques existantes de laminage, de traitement thermique et de recuit.

Autres alliages-mères au vanadium

Les alliages de titanium-vanadifères sont très importants dans la fabrication de certains moteurs d'avion et dans ces applications, il n'y a pas de substitut immédiat. Il serait possible d'utiliser des matériaux moins efficaces mais les coûts en seraient plus élevés et il faudrait modifier la conception; il faudrait de plus compter au moins 2 ans pour effectuer la substitution.

En ce qui concerne d'autres applications aérospatiales, on rapporte que certains manufacturiers ont modifié la conception des composantes afin de remplacer le titanium par de l'acier inoxydable ou de l'aluminium. Certaines sociétés effectuent la substitution lorsqu'elles peuvent obtenir l'autorité des concepteurs qui se trouvent souvent dans un pays étranger.

Dans une large mesure, les fabricants de matériaux aérospaciaux du Canada sont liés par des normes étrangères en ce qui concerne les matériaux à utiliser. Toute substitution de matériaux dépend donc hautement des sociétés, d'applications spécifiques et des rapports qu'entretiennent les fabricants et les concepteurs.

Produits chimiques à base de vanadium

Théoriquement, le platine peut remplacer le vanadium; toutefois, l'usage de catalyseurs au platine plus coûteux, et qui ont tendance à se détériorer, nécessiteraient des révisions majeures à l'équipement d'épurateurs au gaz et des convertisseurs.

Sommaire, partie V

Avec le temps, on pourrait remplacer le vanadium par d'autres métaux tels que le molybdène pour la fabrication de certains aciers, et le platine pourrait être utilisé dans les usines d'acide sulfurique. Toutefois, les alliages de titanium vanadifères sont indispensables pour la fabrication de certains moteurs d'avion et, dans ce cas, nous ne disposons pas de substitut actuellement ou dans un avenir prévisible.

PARTIE VI. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

1. Sous-produits utilisés au Canada

L'industrie canadienne utilise du vanadium sous forme de pentoxyde de vanadium, de ferrovanadium, d'autres alliages au vanadium et de produits chimiques à base de vanadium.

2. Utilisations au Canada

Le pentoxyde de vanadium sert à produire des alliages-mères de ferrovanadium; les alliages-mères de ferrovanadium servent à la fabrication des aciers à haute résistance et faiblement alliés et d'autres aciers servant surtout à la fabrication d'outils, d'automobiles, de constructions, de pipelines et dans l'industrie aérospatiale.

Les alliages de titanium-aluminium-vanadium sont utilisés dans l'industrie aérospatiale; certains sont indispensables pour la fabrication de certains types de moteurs d'avion.

Les produits chimiques à base de vanadium servent à faire des catalyseurs hautement spécialisés et souvent dotés de certaines propriétés; ils sont destinés à être utilisés dans certaines usines spéciales de produits chimiques. Quoique la quantité totale de vanadium utilisée à cette fin soit faible, la disponibilité de ces catalyseurs est essentiel au fontionnement constant des usines canadiennes qui produisent l'acide sulfurique, de l'anhydride maléique et de l'anhydride phtalique.

3. Sources actuelles

Au cours des dernières années, environ 80 % du pentoxyde de vanadium importé au Canada provenait de la République de l'Afrique du Sud, et le reste, soit 20 %, des États-Unis. Environ la moitié du ferrovanadium utilisée au Canada est fabriquée par la Masterloy Products Limited d'Ottawa à partir de pentoxyde de vanadium importé. Le reste du ferrovanadium requis provient en grande partie des États-Unis. Des alliages au vanadium autres que le ferrovanadium sont importés principalement des États-Unis, mais aussi de certains pays de l'Europe de l'Ouest. Les produits chimiques à base de vanadium sont importés d'Europe de l'Ouest et des États-Unis.

4. Sources intérieures possibles

Par le passé, le Canada a produit du pentoxyde de vanadium à partir de résidus et de cendres volantes provenant du raffinage du pétrole brut importé. En ce moment, on considère que les meilleures possibilités de récupération profitables de vanadium au Canada seraient la récupération du vanadium qui se trouve dans les sables pétrolifères et les pétroles lourds de l'Alberta et de la Saskatchewan. Il faudrait compter entre une et deux années pour que la récupération canadienne de vanadium à partir de pétrole brut importé du Venezuela soit possible.

5. Approvisionnements mondiaux

En 1979, trois pays ont assumé quelque 88 % de l'approvisionnement mondial de vanadium contenu dans les minerais et les concentrés, soit la République d'Afrique du Sud, 42 %; l'URSS 28 % et les États-Unis 18 %.

Étant donné l'importance de la République d'Afrique du Sud et de l'URSS au point de vue production mondiale, la fiabilité des sources de matières premières de vanadium pour le Canada demeure de première importance. Toutefois, la capacité d'approvisionnements des États-Unis est bien supérieure au niveau actuel de la demande et on calcule que même si l'approvisionnement de l'Amérique du Nord en matières premières de pentoxyde de vanadium devaient cesser, les ressources minières des États-Unis et leur capacité de production seraient suffisantes pour répondre aux exigences de leur propre consommation et pour poursuivre les mêmes niveaux d'exportations au Canada et aux autres pays.

6. Substituts

Plusieurs éléments métalliques, soit individuellement ou soit sous diverses combinaisons, peuvent servir de substituts de vanadium comme additifs à l'industrie sidérurgique. Toutefois, l'usage de ces substituts nécessiterait généralement des modifications à la technique de laminage, de traitement thermique et de recuit. Il n'existe pas des substituts pour les alliages titanium-vanadium qui entrent dans la fabrication de certains types de moteurs d'avion; le remplacement du vanadium par d'autres matériaux dans l'industrie aérospatiale dépendrait fortement des utilisateurs et des applications précises des organismes aérospatiaux. L'usage de platine comme catalyseur dans la production d'acide sulfurique nécéssiterait d'importantes révisions à l'équipement.

7. Stocks

Le Canada ne possède pas de stocks de réserves de vanadium. Les stocks industriels de pentoxyde de vanadium correspondent normalement à une consommation moyenne de six semaines, tandis que les stocks d'autres sous-produits du vanadium ne dépassent pas, semble-t-il, les besoins d'un mois.

8. Mesures possibles à prendre

Le tableau 11 énumère les mesures possibles à prendre en cas d'interruptions dans l'approvisionnement de matériaux de vanadium en raison d'événements se produisant à l'extérieur de l'Amérique du Nord.

Tableau 11

Mesures possibles à prendre en cas d'interruptions dans l'approvisionnement de matériaux de vanadium

Durée présumée de l'interruption:	Sous-produits du vanadium			
	Pentoxyde de vanadium (V_2O_5)	Ferrovanadium (FeV)	Autres alliages-mères au vanadium	Produits chimiques à base de vanadium
A. De deux à six mois	i) Obtenir des quantités additionnelles des É.-U.	a) si l'interruption touche à la fois V_2O_5 et FeV provenant d'outremer: i) Augmenter la production de FeV au Canada en utilisant des quantités additionnelles de V_2O_5 importées des É.-U.	b) si l'interruption touche seulement les importations de FeV: i) Augmenter la production canadienne de FeV	i) Obtenir des approvisionnements supplémentaires des É.-U. plutôt que de l'Europe	i) Obtenir des approvisionnements supplémentaires des É.-U. plutôt que de l'Europe
	ii) Diminuer la demande de V_2O_5 en remplaçant le vanadium dans l'industrie des aciers	ii) Augmenter les importations de FeV provenant des É.-U.	ii) Augmenter les importations de FeV provenant des É.-U.		
		iii) Diminuer la demande de FeV en remplaçant le vanadium dans les aciers	iii) Diminuer la demande de FeV en remplaçant le vanadium dans les aciers		
B. De six mois à deux ans	i) Tel que "A" ci-dessus ii) Exploiter de nouvelles sources d'approvisionnement soit en Australie soit Finlande	Tel qu'en "A" ci-dessus		Tel qu'en "A" ci-dessus	Tel qu'en "A" ci-dessus
C. De deux à cinq ans	i) Tel qu'en "B" ci-dessus ii) construire des installations de récupération de V_2O_5 à partir des pétroles bruts importées et des sables pétrolifères intérieure	Tel qu'en "A" ci-dessus		Tel qu'en "A" ci-dessus	i) Tel qu'en "A" ci-dessus ii) Fabrication de certains produits chimiques en conjonction avec la production intérieure de V_2O_5
D. Plus de cinq ans	i) Tel qu'en "C" ci-dessus ii) au besoin, afin de satisfaire la demande de V_2O_5, construire les installations de récupération de V_2O_5 à partir de gisements vanadifères de magnétite titanifère du Québec	Tel qu'en "A" ci-dessus		Tel qu'en "A" ci-dessus	Tel qu'en "C" ci-dessus

ANNEXE 1

Prix É.-U. moyen annuel du pentoxyde de vanadium, 1970 à 1979

Année	Prix É.-U. de V_2O_5 en $Can./lb
1970	2,56[e]
1971	1,70[e]
1972	1,49
1973	1,50
1974	2,07
1975	2,81
1976	2,86
1977	3,14
1978	3,61
1979	3,97

Sources: 1970-71, U.S. Bureau of Mines, "Vanadium-1977", **Mineral Commodity Profile MCP-8**, p.9; 1972-79, U.S. Bureau of Mines "Commodity Data Summaries", 1977-80. Taux d'échange, **Bank of Canada Review**, août 1980, p. S 113.
e: estimatif

ANNEXE 2

Prix É.-U. du pentoxyde de vanadium et du ferrovanadium

A. Pentoxyde de vanadium

		Prix É.-U. en $Can./lb de V_2O_5 contenu
i)	Fondu ou flocon de qualité technique (s'applique au marché de la métallurgie)	3,99 - 5,35
ii)	Granulaire, qualité technique (s'applique aux usages chimiques)	4,47 - 5,35
iii)	Granulaire, haute pureté (s'applique aux usages chimiques)	7,22

B. Ferrovanadium

		Prix É.-U. en $Can./lb de vanadium contenu
i)	É.-U. "Carvan"	9,23
ii)	É.-U. "Ferovan"	9,23
iii)	Producteurs É.-U., 70-80 % de vanadium, faible teneur en carbone	10,13
iv)	Producteurs É.-U., 80 % de vanadium	10,13

Sources: **Metals Week,** 15 septembre 1980. Taux d'échange: **The Globe and Mail,** 23 janvier 1981, p. B12.

ANNEXE 3

Tarifs douaniers canadiens sur les matériaux de vanadium importés

N° tarifaire		Taux			
1. Tarifs douaniers, 1980					
		Tarif préférentiel	Tarif de la nation la plus favorisée	Tarif général	Tarif général préférentiel
32900-1	Minerais et concentrés de vanadium	En franchise	En franchise	En franchise	En franchise
37520-1	Oxyde de vanadium	En franchise	En franchise	5 %	En franchise
35101-1	Vanadium métal, à l'exception des alliages	En franchise	5 %	25 %	En franchise
37506-1	Ferrovanadium	En franchise	5 %	5 %	En franchise

2. Les tarifs de la nation la plus favorisée en vertu de l'Accord général sur les tarifs douaniers et le Commerce (GATT) (en vigueur le 1er janvier pour l'année en question)

N° tarifaire	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
32900-1	Demeure en franchise							
37520-1	Demeure en franchise							
35101-1	4,9	4,8	4,6	4,5	4,4	4,3	4,1	4,0
37506-1	5,0	5,0	4,8	4,7	4,5	4,3	4,2	4,0

Sources: Tarifs des douanes et ses modifications, ministère du Revenu national, division des douanes et de l'accise, Ottawa; Avis de motion des Voies et Moyens, Tarifs douaniers, Ministère des Finances, Ottawa, 1979.

ANNEXE 4

Rapports sélectionnés sur le vanadium préparés par le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)

Godden, M., "Aerospace Materials - a Survey of Research Topics" **Physical Metallurgy Research Laboratories Report MRP/PMRL 79-77 (INT)**, 9 p.

Kinsey, H.V., "A Survey of the Titanium Alloys, their Application and their Processing and Manufacturing Technology", **Mines Branch Technical Bulletin TB 80**, mars 1966, 17 p.

Lucas, B.H. et Ritcey, G.M., "An Alkaline Roast-Leach Process for Treatment of Titaniferous Magnetite for Recovery of Chromium, Vanadium and Aluminum", **Bulletin du ICM**, vol. 73, n° 821, septembre 1980, p. 126-132.

Ritcey, G.M. et Lucas, B.H., "Recovery of Chromium and Vanadium from Alkaline Solutions Produced by an Alkaline Roast-Leach of Titaniferous Magnetite", **Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 77-153 (OP)**, 45 p.

Stemerowicz, A., Bruce, R.W., Sirianni, G.V. et Viens, G.E., "The Recovery of Vanadium and Nickel from Athabasca Tar Sands Fly Ash", **Bulletin du ICM**, vol. 69, n° 768, avril 1976, p. 102-108.

Vezina, J.A. et Gow, W.A., "The Preparation of Commercial-grade Vanadium Pentoxide from Boiler Fly Ash", **Mines Branch Technical Bulletin TB 63**, janvier 1965, 13 p.

Viens, G.E., Campbell, R.A., Banks, G.N., Montgomery, E.W. et Sirianni, G.V., "Smelting of Vanadium-bearing Titaniferous Magnetite Concentrate from the Chibougamau Area of Quebec in 250 KVA Shaft-Electric Reduction Furnace", **Energy Research Laboratories Report ERP/ERL (CF) 76-78 (IR)**, 19 p.

ANNEXE 5

Références générales

Broderick, G.N. "Vanadium" dans le U.S. Bureau of Mines, **"Minerals Yearbook,** 1977, Vol. I, Metals and Minerals", Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1980, 1066 p., p. 979-987. (voir aussi les années précédentes).

Canada, Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, "Imported Mineral Raw Materials: Guidelines for Research Policy", **Secteur de la politique minérale - Rapport interne MRI 80/8,** 14 p.

Gottschalk, R.R., "Vanadium: Consumption in Western World Rises to a Record High", **Engineering and Mining Journal,** vol. 181, n° 3, mars 1980, p. 104, 107 et 108.

Johnson, R., "Vanadium" Énergie, Mines et Ressources Canada, **"Canadian Minerals Yearbook, 1976", Mineral Report 26,** Ottawa, Approvisionnements et Services Canada, 1979, 732 p., p. 597-602.

Taylor, H.A., Jr. et Broderick, G.N., "Vanadium" dans le U.S. Bureau of Mines "Mineral Facts and Problems", **Bulletin 667,** Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1975, 1259 p., p. 1201-1211.

Thomson, A.G., "Vanadium" dans la "Mining Annual Review 1980", Londres (Angleterre), **The Mining Journal,** 1980, 644 p., p. 94-95.

United States, Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1980", Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1979, 131 p.

United States, Bureau of Mines, "Vanadium-1977", **Mineral Commodity Profiles MCP-8,** décembre, 1977, 13 p.

United States, Bureau of Mines, "Vanadium in 1979", **Mineral Industry Surveys, (Annual),** 1979, 2p.

United States, Bureau of Mines, "Vanadium in August 1980", **Mineral Industry Surveys, (Monthly),** 1980, 5 p.

United States, National Materials Advisory Board, "Vanadium Supply and Demand Outlook" (NMAB-346: National Technical Information Service PB-284 947) Washington, D.C., U.S. Department of Commerce, 1978, 125 p.

27 février 1981